

HD75.6.D53 1995

RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS: MODELOS DE EXPLORAÇÃO ÓPTIMA

CASO DE UMA PEDREIRA DE MÁRMORES EM VILA VIÇOSA E SUA RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

Tese de Mestrado em Economia e Política da Energia e do Ambiente

Maria Amélia Filipe Branco Antunes Dias

Orientador: Professor Doutor Rui Junqueira Lopes (Universidade de Évora)

Co-orientador: Professor Doutor Vitor Santos

Júri:

Presidente: Professor Doutor Álvaro Gonçalves Martins Monteiro
Vogais: Professor Doutor Rui Manuel Estanco Junqueira Lopes
Professor Doutor Vítor Manuel da Silva Santos

Lisboa
Julho 1995

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos vão, em primeiro lugar, para o Professor Doutor Rui Junqueira Lopes por ter aceite a orientação científica da minha dissertação de mestrado, pelas sugestões, comentários e críticas que sempre me dispensou.

Ao Professor Doutor Vitor Santos, pelo interesse revelado e pelo apoio científico, consubstanciado num debate de ideias profícuo.

À equipa de História Económica e Social do ISEG, pelas facilidades de trabalho concedidas, pela amizade, interesse e apoio constantes. Uma referência muito especial ao Professor Doutor Nuno Valério, pelas sugestões e ensinamentos proporcionados, sempre valiosos.

Ao Centro de Valorização de Recursos Minerais do Instituto Superior Técnico na pessoa do Eng^o. Jorge Ribeiro, pela colaboração prestada na aquisição de informação sobre o sector e pelos esclarecimentos dispensados, sempre enriquecedores dos meus conhecimentos do sector pétreo. Manifesto igualmente o meu reconhecimento pela inestimável colaboração do Professor Eng^o. Fernando Durão na elaboração do algoritmo informático de resolução do modelo.

À Dr. Fátima Ribeiro, do Departamento de Matemática do ISEG, pelo auxílio prestado no entendimento da Teoria do Controlo Óptimo, viabilizador de um maior aprofundamento matemático.

Ao Eng^o. João Passos e à Arq^{ta}. Cristina Martins pela disponibilidade no fornecimento de dados e outra documentação fundamental na elaboração da segunda parte desta dissertação.

Os meus agradecimentos a todos aqueles que, não sendo mencionados, de uma forma ou de outra tornaram possível a realização desta dissertação de mestrado.

*À minha mãe e
ao meu marido*

RESUMO

A conservação dos recursos naturais e a preservação do equilíbrio ambiental revelam-se como pedras basilares de um crescimento sustentável e harmonioso. Nesta óptica, apresenta-se uma resenha dos principais contributos para a teoria dos recursos não renováveis, desde o estabelecimento do *Princípio de HOTELLING* até às abordagens que o inovaram no que concerne aos custos, situação de mercado e aumento dos recursos por via da descoberta de novas jazidas e aparecimento de "*backstop technology*".

Em Portugal, a extracção de mármore apresenta um peso económico significativo em algumas regiões. Sendo o mármore um recurso não renovável, a sua extracção apresenta vários problemas, não só relacionados com a escassez num futuro próximo, mas também com os impactos ambientais da sua exploração.

Arvorando-se a região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa como uma das mais ricas em reservas de calcário cristalino e onde a importância sócio-económica e densidade de pedreiras são bastante elevadas, procedeu-se à aplicação de um modelo de exploração económica óptima de recursos não renováveis com algumas adaptações (nomeadamente a consideração dos custos de recuperação paisagística) a uma pedreira situada na região, com intuito meramente exemplificativo e ilustrativo.

ABSTRACT



The conservation of the natural resources and the preservation of the environmental balance reveal themselves as basilar foundations of a sustainable and harmonious growth. In this perspective, we present a detailed description of the main contributions for the theory of exhaustible resources from the establishment of the *HOTELLING Principle* till the approaches that have innovated this same Principle in what concerns the costs function, market conditions and the increase of resources through the discovery of new stocks and the appearing of "*backstop technology*".

In Portugal the extraction of marbles presents a significant economical meaning in some regions. Being marble an exhaustible resource, its exploration causes several problems, not only related with its scarcity but also with the environmental impact of its exploration.

Estremoz, Borba and Vila Viçosa is a very wealthy region in what concerns supplies of clear limestone, where the socio-economical importance and density of stone-pits are very high, a pattern of economic optimal exploration of exhaustible resources with some adjustments (mainly the cost of landscape recovery) was implemented to a marble quarry, placed in that same region, as a mere example and illustration.

PALAVRAS-CHAVE

Recursos Não Renováveis

Modelos de Exploração Económica Óptima

Princípio de HOTELLING

Recuperação Paisagística

Impactos Ambientais

Pedreira de Mármore

KEY WORDS

Exhaustible Resources

Pattern of Optimal Economic Exploration

HOTELLING Principle

Landscape Recovery

Environmental Impact

Marble Quarry

ÍNDICE

PARTE I - QUADRO TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. RECURSOS NATURAIS: DEFINIÇÃO E TIPOLOGIA	3
1.3. RECURSOS E ECONOMIA: PERSPECTIVA HISTÓRICA	4
2. TEORIA DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS	8
2.1. INTRODUÇÃO	8
2.2. O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS	9
2.2.1. O Modelo de HOTELLING	9
2.2.2. Modelo de HOTELLING: Função Composta dos Custos de Extracção	17
2.2.3. Taxas de Actualização	20
2.3. EXPLORAÇÃO COM DIRECÇÃO CENTRAL ÚNICA OU EM CONCORRÊNCIA	25
2.4. A INCERTEZA DO LADO DA OFERTA	29
2.4.1. Introdução	29
2.4.2. Incerteza do lado da Oferta	30
2.4.2.1. Prospeccção	31
2.4.2.2. <i>Backstop Technology</i>	41
2.5. EXTERNALIDADES	46
2.5.1. Definição	46
2.5.2. Modelo de Exploração Óptimo com externalidades	48

PARTE II - INDÚSTRIA EXTRACTIVA DOS MÁRMORES NO ALENTEJO: ESTUDO DE CASO

3. A INDÚSTRIA EXTRACTIVA DOS MÁRMORES NA REGIÃO DE ESTREMOZ-BORBA-VILA VIÇOSA	50
3.1. GENERALIDADES	50
3.2 CARACTERIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DA INDÚSTRIA DE MÁRMORE NO TRIÂNGULO DE ESTREMOZ-BORBA-VILA VIÇOSA	53
3.2.1. Estabelecimentos	53
3.2.2. Produção	54
3.2.3. Mão-de-Obra	57
3.2.4. Indicadores	58
3.2.5. Estrutura Empresarial	59
3.2.6. Exportações	61
3.2.7. Preços	63
3.2.8. Transportes	64
3.3. INCENTIVOS AO INVESTIMENTO	66
3.4. CONCLUSÕES	68
4. IMPACTOS AMBIENTAIS DE PEDREIRAS	70
4.1 BREVE INTRODUÇÃO À PROBLEMÁTICA DO AMBIENTE	70
4.2. AS PEDREIRAS E O AMBIENTE	72
4.2.1. Introdução	72
4.2.2. Impactos Produzidos nas Várias Fases da Vida de uma Pedreira	73
4.2.3. Tipologia dos Impactos	77
4.2.3.1. Impactos no Solo	78
4.2.3.2. Impactos sobre a Água	79
4.2.3.3. Impactos na Qualidade do Ar	80
4.2.3.4. Ruídos e Vibrações	80
4.2.3.5. Impactos na Fauna e Flora	80
4.2.3.6. Impactos na Paisagem	81

4.2.3.7. Impactos no Património Cultural, no Construído e nas Infraestruturas	81
4.2.3.8. Instabilidade de Taludes	81
4.2.4. Características dos Impactos	82
4.2.5. Legislação Aplicável e Protecção do Ambiente: Caso Português	83
4.3. A RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS	84
4.3.1. Introdução	84
4.3.2. A Recuperação de Pedreiras	87
4.3.3. Tipos de Acções	88
4.3.4. Modalidades	89
4.4. PLANOS DE RECUPERAÇÃO DE PEDREIRAS ACTIVAS NA REGIÃO ALENTEJO	90
 5. UMA PEDREIRA EM VILA VIÇOSA: ESTUDO DE CASO	 93
5.1. PROBLEMA EM ESTUDO	93
5.2. MODELO ECONÓMICO DE GESTÃO DE UM RECURSO NÃO RENOVÁVEL, COM RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA	94
5.2.1. Algumas Considerações	94
5.2.2. Hipóteses do Modelo	95
5.2.3. Modelo e seus Resultados	100
 6. ALGUMAS CONCLUSÕES	 106
 BIBLIOGRAFIA	 109
 ANEXOS	
A. QUADROS DA PROCURA	
B. RESULTADOS DO MODELO	

PARTE I

QUADRO TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A não renovabilidade de alguns recursos naturais coloca diversos problemas ao crescimento económico, nomeadamente nos casos em que esses recursos sustentam uma estratégia de desenvolvimento, regional ou nacional, sendo muitas vezes alvo de uma exploração desenfreada e pouco criteriosa.

A crescente consciencialização pública para este problema tem conduzido à criação de várias abordagens académicas, procurando a teoria dos recursos naturais não renováveis apontar novos caminhos para a humanidade, no que respeita à exploração destes recursos, que passem pela consideração da inevitabilidade da sua escassez.

É, também, neste contexto, que se pretende apresentar uma abordagem da exploração de um recurso não renovável - o mármore -, actividade bastante antiga e que escreveu história desde os primórdios da civilização até aos nossos dias. Contudo, os problemas críticos da exploração do recurso em questão não se cingem à sua escassez no futuro, suscitando questões diversas, designadamente as repercussões no ambiente, resultado das características de natureza geológica do mármore e da especificidade tecnológica da sua extracção.

Na tentativa de alcançar estes objectivos, entendeu-se dividir a presente dissertação em duas partes:

- A primeira, que se ocupa da análise de diferentes contribuições teóricas para o estudo dos recursos não renováveis;
- Uma segunda, onde se aborda o caso concreto de uma pedreira ligada à extracção de mármore, situada em Vila Viçosa, à qual se aplicou um modelo de gestão de recursos não renováveis, considerando que também teria lugar a recuperação paisagística da área afectada à exploração, processo assente no tratamento das escomboreiras.

A primeira parte desenvolve-se em dois capítulos:

- Num primeiro, onde se integra esta parte introdutória, apresenta-se uma breve definição e caracterização de recurso natural, seguindo-se a apresentação de uma perspectiva histórica quanto à preocupação dos economistas com a problemática ambiental.

- No segundo capítulo aborda-se a problemática da gestão económica óptima de um recurso não renovável, a partir de diferentes abordagens teóricas. Parte-se de um modelo relativamente simples, com custos de extracção inexistentes, e procura-se aumentar a sua complexidade, com a introdução da função-custo, abandono da condição de concorrência perfeita no mercado dos recursos; prossegue-se com a consideração da incerteza do lado da oferta de recursos (novas descobertas e o aparecimento de substitutos); e, a finalizar, procede-se à integração das externalidades.

Na segunda parte da dissertação, procedeu-se ao estudo de caso com a análise de uma pedreira de mármore situada em Vila Viçosa, designada como pedreira Y. A escolha desta região deve-se, por um lado, à sua importância no contexto pétreo português, e, por outro, pelo exemplo paradigmático que as pedreiras da região constituem, encontrando-se grande parte delas na vanguarda das técnicas de extracção no panorama nacional.

A extensão e diversidade das questões afloradas justificam a subdivisão em quatro capítulos, cujos conteúdos sumariamente se apresentam de seguida.

Começa-se por efectuar uma breve caracterização técnico-económica da indústria extractiva dos mármore no triângulo Estremoz-Borba-Vila Viçosa, enquadrando-a no contexto nacional e no distrito de Évora. Apresentam-se algumas das condições económicas da exploração e aborda-se o tema das exportações e dos preços. Para além disso, tecem-se algumas considerações quanto aos apoios comunitários ao sector.

A ênfase dada à questão ambiental na abordagem da exploração económica óptima dos mármore, resulta do facto da legislação portuguesa, criada nos últimos anos para o sector extractivo, impôr crescentes limitações à extracção motivadas por preocupações de natureza ambiental. Neste âmbito, procurou-se apresentar metodologias de recuperação paisagística de pedreiras (incluindo-se nesta designação, o ambiente e a paisagem), as quais representam um custo adicional para as empresas ligadas ao sector, custo esse que deve ser considerado na gestão do recurso. Contudo, apenas se pretende estudar o impacto destes custos na rentabilidade económica da pedreira Y, afastando-se eventuais preocupações com os instrumentos económicos que podem ser utilizados na resolução dos problemas ambientais. É esta a tónica do capítulo 4.

No capítulo 5 passa-se à estruturação de um modelo aplicável à exploração económica da pedreira Y. Refiram-se as dificuldades enfrentadas na obtenção de

dados, quer em termos da sua quantidade, quer da sua credibilidade. Efectivamente, só a partir de 1990 é que a maior parte das pedreiras apresenta contabilidade organizada, altura em que a legislação se tornou mais rigorosa para pedreiras de maior dimensão. Desta forma, as possibilidades de generalização dos resultados tornam-se substancialmente menores, pois recorreu-se a hipóteses bastante simplificadoras da realidade. Para além disso, os custos de recuperação paisagística reportam-se à execução de um cenário muito concreto, podendo este não ser viável noutras pedreiras.

Finalmente, no último capítulo, são apresentadas algumas conclusões, tendo como referência o quadro teórico apresentado. Aponta-se também para a importância de alguns aspectos institucionais referentes à gestão do recurso.

1.2. RECURSOS NATURAIS: DEFINIÇÃO E TIPOLOGIA

Tal como refere REES (1985: 12), para estarmos perante um recurso natural, duas condições terão de ser cumulativamente verificadas: primeira, o conhecimento e a técnica disponíveis permitirem a sua extracção e utilização; segunda, os bens e serviços por ele produzidos terão que ter procura.

Podem-se distinguir duas classes de recursos naturais: os renováveis e os não renováveis (LECOMBER, 1979: 3). Os recursos renováveis são aqueles cuja renovação passa por um processo natural num período de tempo suficientemente curto para que possam ser relevantes para as necessidades humanas (REES, 1985: 15). Dentro deste grupo, distinguem-se dois tipos de recursos: os que não dependem da actividade humana e nunca se esgotam; e os que também podem ser indefinidamente renováveis, se a sua exploração permanecer abaixo da sua taxa de crescimento natural.

Os recursos não renováveis apresentam como principal característica o facto da sua oferta não ser ilimitada, isto é, a sua exploração num dado momento impede a sua exploração num período futuro (LECOMBER, 1979: 3). Mas mesmo dentro deste grupo, os recursos não são homogéneos, distinguindo-se aqueles que são consumidos pelo uso, daqueles que são recicláveis (REES, 1985: 14).

Dentro dos recursos não renováveis, e no primeiro caso (onde podemos incluir os mármore), as taxas de utilização correntes afectam as utilizações futuras. A questão central que se coloca é: *Qual será a taxa de utilização óptima?* Esta questão tem sido amplamente debatida sem, no entanto, ter sido possível obter

respostas simples e inequívocas. Apenas num sistema sócio-económico ideal de concorrência perfeita e sem incerteza quanto ao futuro seria possível estabelecer condições que definissem a trajectória óptima de exploração destes recursos. Torna-se então forçoso adaptar esta abordagem às imperfeições do mercado. Para o segundo caso, e se a tecnologia o permitir, alguns minerais podem ser reciclados, mantendo-se o seu stock relativamente constante ao longo do tempo.

1.3. AMBIENTE E ECONOMIA: PERSPECTIVA HISTÓRICA

Os anos 60 podem ser apontados como os do renascimento do interesse público e académico em relação à problemática da exploração dos recursos naturais, cujas primeiras abordagens remontam ao século XVIII.

O elevado ritmo de crescimento da pressão sobre o consumo e destruição dos recursos naturais, sobretudo durante a Segunda Guerra Mundial, conduziu a níveis preocupantemente baixos dos stocks de matérias-primas e a alarmantes sinais de degradação ambiental. Perante a gravidade do problema, as entidades públicas tentaram intervir no sentido da sua resolução, realizando investimentos consideráveis em tecnologia, a fim de que os limites físicos dos recursos não colocassem em causa o crescimento económico. Procurava-se a substituição do recurso natural pelo tecnológico.

Mas a questão da escassez não foi uma descoberta dos anos 60. Os economistas clássicos deixaram um legado vasto e riquíssimo para os debates sobre as questões ambientais. Embora considerando o mercado o principal mecanismo estimulador de inovação e crescimento, revelavam-se pessimistas quanto às perspectivas de crescimento económico de longo prazo.

Para THOMAS MALTHUS (1766-1834) no seu livro "*Princípios do crescimento da população*", a terra, principal factor produtivo e existente em quantidades fixas (limitada em termos absolutos), impunha limites ao crescimento. À medida que a população crescia, rendimentos decrescentes, resultado do aproveitamento de terras menos produtivas, reduziam a quantidade de bens alimentares. Esta tendência conduziria os níveis de vida para os limiares da subsistência e a população pararia de crescer. A lei dos rendimentos decrescentes era, igualmente, aplicável aos recursos minerais.

Para RICARDO (1772-1823) a escassez de recursos colocava-se em termos de qualidade da terra disponível. A sociedade é forçada a ocupar terras de

fertilidade decrescente ou pior localizadas. O mesmo se aplicava aos minerais: primeiro eram exploradas as minas de qualidade superior, e por isso com custos inferiores. O crescimento do consumo obrigaria à exploração de depósitos de qualidade progressivamente decrescente. O progresso técnico apenas aumentaria a produtividade, mas não eliminaria a tendência.

JOHN STUART MILL (1806-1873) concebia o progresso económico em termos de uma corrida entre progresso técnico e os rendimentos decrescentes na agricultura (PEARCE e TURNER, 1990: 7). Na sua perspectiva, o progresso económico tenderia a cessar mas, ao contrário de Ricardo e Malthus, tal significava apenas que as necessidades materiais do Homem estavam satisfeitas e este poderia estar disponível para outros objectivos, como seriam a educação e outras metas sociais.

Dentro do paradigma clássico, foram estes economistas os primeiros a lançarem as questões do ambiente, ao alertarem para a incapacidade da natureza em fornecer quantidades ilimitadas de terra de boa qualidade, capazes de satisfazer as necessidades e conforto humanos (COMMON, 1988: 2).

MARX (1818-1883) não se preocupou com os problemas ambientais que a sociedade socialista poderia ter de enfrentar. No entanto, numa interpretação marxista, os problemas ambientais podem ser explicados pela redivisão do trabalho verificada entre os países do norte e os países do sul (PEARCE e TURNER, 1990: 9).

Para os neoclássicos, a actividade económica tendia para o pleno emprego do trabalho, e era este que determinava os limites da economia. Segundo COMMON (1988: 19), seria errado afirmar que os neoclássicos não evidenciaram qualquer tipo de preocupação com o ambiente. JEVONS (1865) publicou um trabalho onde revelou preocupação em relação aos limites que o carvão impunha à continuação da revolução industrial inglesa. Quanto aos problemas da poluição e da respectiva incapacidade do mercado em os resolver, isto é, a existência de externalidades, foram debatidos, mais tarde, por MARSHALL (1890) e por PIGOU (1920).

A experiência da maior parte dos países no período entre as duas guerras foi bem diferente face ao que os neoclássicos defendiam. A presença do desemprego conduziu à formação da corrente Keynesiana, que sublinhava a intervenção do governo na economia através do défice orçamental.

Durante os anos 60, a intensificação e a internacionalização dos problemas ambientais colocou de novo na ordem do dia a relação conturbada ambiente versus crescimento económico, preocupação que será o principal elemento explicativo do surgimento de novas disciplinas como, por exemplo, a economia do ambiente, que adoptou os conhecimentos produzidos ao nível da análise económica convencional, enquanto instrumentos de análise e de política para resolução dos problemas do ambiente.

As diferentes abordagens e tratamentos desta questão, deram origem à criação de duas correntes: a pessimista e a optimista.

A corrente pessimista defendia que os limites impostos pela Natureza ao crescimento económico, através do iminente esgotamento de recursos, não poderiam ser superados, nem mesmo pelo desenvolvimento tecnológico (LECOMBER, 1979: 4). No relatório de MEADOWS (1972) apontava-se para a incompatibilidade do crescimento económico com as políticas de protecção do ambiente, resultando deste facto uma crise económica profunda, caso as actividades humanas não fossem limitadas e adequadas aos limites impostos pelos recursos.

Por seu lado, a corrente optimista, defensora de posições antagónicas, criticou fortemente a argumentação apresentada pela outra parte, por esta ignorar a capacidade de resposta do Homem e da Natureza. Embora admitindo a escassez de recursos, criticavam as medidas utilizadas para tal, por estas não considerarem as novas descobertas, as possibilidades de substituição e o progresso técnico. Destacavam, também, a importância dos mecanismos de mercado para a realização dos ajustamentos necessários: o aumento dos custos de produção, associado aos rendimentos decrescentes dos factores de produção, levaria a uma diminuição da oferta ao nível de preços existente e, como tal, os preços tenderiam a aumentar para se repôr o equilíbrio (REES, 1985: 38). Quando na presença de externalidades ou na ausência de direitos de propriedade e este mecanismo não funcionasse, tornar-se-ia necessária a adopção de outras medidas (LECOMBER, 1979: 5).

Nos anos 80, novas orientações foram dadas às questões ambientais. Aceitou-se que os recursos são suficientes para satisfazer as necessidades humanas no longo prazo. O ponto crítico encontra-se na distribuição espacial da população face ao fornecimento de recursos e no uso ineficiente dos mesmos. Surge o conceito de *Desenvolvimento Sustentável*, que envolve a maximização de benefícios líquidos do desenvolvimento económico, com a restrição de manter os serviços e a qualidade dos recursos. Desenvolvimento económico não deve apenas

ser sinónimo de crescimento do Produto "*per capita*", mas também deve envolver alterações profundas na estrutura económica e da sociedade (PEARCE e TURNER, 1990: 23-24).

2. TEORIA DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS

2.1. INTRODUÇÃO

" Contemplation of the world's disappearing supplies of minerals, forest, and others exhaustible activeness has lead to demands for regulation of their exploitation. The feeling that these products are now too cheap for the good of future generations, that they are being selfishly exploited at too rapid rate, and that in consequence of their excessive cheapness they are being produced and consumed wastefully has given rise to the conservation movement."

Harold Hotelling in "The Economics of Exhaustible Resources" (1931: 137)

A primeira teoria aplicável ao sector mineiro foi formulada por LEWIS GRAY em 1914, ao deduzir as características da trajectória temporal dos preços e o efeito dos impostos e das alterações dos preços no comportamento de uma empresa, recorrendo apenas à teoria micro-estática e a exemplos numéricos (PETERSON e FISHER, 1977: 692).

Contudo, foi com HOTELLING (1931) que o tratamento dos recursos não renováveis foi mais completo: definiu com maior precisão o conceito de esgotamento; desenvolveu um cálculo matemático com base nas variações, que lhe permitiu definir uma regra, ainda hoje fundamental, para os recursos não renováveis (GORDON, 1967: 274). Conhecida pelo *Princípio de HOTELLING*, assenta na proposição de que o preço unitário destes recursos menos o custo marginal de os extrair, apresenta uma taxa de crescimento igual ao rendimento obtido em outros activos comparáveis.

HOTELLING destacou as consequências deste princípio: a tendência crescente dos preços líquidos funciona como uma mão invisível, que induz as gerações actuais a utilizar a quantidade exacta dos recursos e a conservar uma parte para as gerações futuras. Este foi o marco fundamental que deu início às abordagens económicas das políticas nacionais no campo da conservação, regulação e taxação dos recursos naturais (MILLER e UPTON, 1985: 2).

Para além de definir a trajectória óptima dos preços e da extracção, Hotelling tratou outras questões, muito embora de forma menos formal e profunda. Entre elas, destaca-se o seu estudo dos efeitos sobre o preço e trajectória da produção, resultantes da existência das seguintes situações: monopólio, custos de extracção crescentes, procura influenciada pela produção acumulada, investimento fixo, impostos e efeitos externos das descobertas (DEVARAJEN e FISHER, 1981: 66).

Na década de 70, assistiu-se ao despertar de um maior interesse pela capacidade de previsão do modelo, face ao aumento significativo do preço do petróleo e de grande parte das matérias-primas. Simultaneamente, desenvolvem-se extensões teóricas do modelo de HOTELLING, que procuram flexibilizar algumas das hipóteses estabelecidas (FISHER, 1981: 37):

- É o caso da concorrência perfeita, nem sempre presente nos recursos minerais. A existência de direcção central na exploração dos recursos pode afectar a trajectória do preço e alterar as conclusões;
- Outra das questões, relaciona-se com a taxa de actualização utilizada. Será sempre óptima em termos sociais ?;
- O problema da incerteza quanto à oferta e procura futuras do recurso. No seu modelo, HOTELLING assume que os depósitos de minerais foram encontrados e que apenas precisam de ser extraídos. Mas ignora que as empresas investem muito na prospecção de novas reservas;
- A presença de externalidades, uma constante no caso dos recursos naturais, mas que não são consideradas nas decisões do produtor.

Estas e muitas outras questões foram objecto de estudo teórico numa óptica económica. Nas secções seguintes deste capítulo serão abordadas algumas delas, recorrendo aos autores que mais se notabilizaram no seu tratamento.

2.2. O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS

2.2.1. O Modelo de Hotelling

O esgotamento dos recursos naturais, claramente definido por Hotelling, implica a existência de um limite para a produção total ao longo do tempo. Considerando 0 como o início da produção e T o fim da mesma, podemos representar este limite da seguinte forma:

$\int_0^t q(t)dt = K$, onde $q(t)$ é a produção no momento t e K o limite físico da mesma.

Na década de 70, assistiu-se ao despertar de um maior interesse pela capacidade de previsão do modelo, face ao aumento significativo do preço do petróleo e de grande parte das matérias-primas. Simultaneamente, desenvolvem-se extensões teóricas do modelo de HOTELLING, que procuram flexibilizar algumas das hipóteses estabelecidas (FISHER, 1981: 37):

- É o caso da concorrência perfeita, nem sempre presente nos recursos minerais. A existência de direcção central na exploração dos recursos pode afectar a trajectória do preço e alterar as conclusões;
- Outra das questões, relaciona-se com a taxa de actualização utilizada. Será sempre óptima em termos sociais ?;
- O problema da incerteza quanto à oferta e procura futuras do recurso. No seu modelo, HOTELLING assume que os depósitos de minerais foram encontrados e que apenas precisam de ser extraídos. Mas ignora que as empresas investem muito na prospecção de novas reservas;
- A presença de externalidades, uma constante no caso dos recursos naturais, mas que não são consideradas nas decisões do produtor.

Estas e muitas outras questões foram objecto de estudo teórico numa óptica económica. Nas secções seguintes deste capítulo serão abordadas algumas delas, recorrendo aos autores que mais se notabilizaram no seu tratamento.

2.2. O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS

2.2.1. O Modelo de Hotelling

O esgotamento dos recursos naturais, claramente definido por Hotelling, implica a existência de um limite para a produção total ao longo do tempo. Considerando 0 como o início da produção e T o fim da mesma, podemos representar este limite da seguinte forma:

$\int_0^t q(t) dt = K$, onde $q(t)$ é a produção no momento t e K o limite físico da mesma.

O limite físico distingue os recursos naturais renováveis e não renováveis. A teoria pura procura traçar, no caso destes últimos, as consequências das suas características nas decisões das empresas. Efectivamente, para se aumentar a produção num determinado momento, no futuro ela terá de ser inferior. Como em todos os problemas de maximização, pode-se estabelecer uma igualdade que permita limitar os ajustamentos lucrativos na produção (GORDON, 1966: 321).

A formalização do esgotamento do recurso vai ser apresentada de uma forma diferente da considerada por HOTELLING. Seja t a variável tempo; S_0 o stock inicial de um recurso não renovável perfeitamente conhecido; R_t a taxa de extracção do recurso no momento t . Tomando o tempo como uma variável contínua, a reserva de um recurso em t ($t > 0$) é dada pela equação:

$$S_t = S_0 - \int_0^t R_\tau d\tau \quad (2.1.)$$

Com $S_t \geq 0$ para todo o $t \geq 0$, o limite existente nos serviços fornecidos por um recurso não renovável (entendidos como a quantidade do recurso passível de ser extraído) pode ser representado através da igualdade:

$$\int_0^{\infty} R_t dt \leq S_0 \quad (2.2.)$$

Derivando a equação (2.1.) em ordem ao tempo, é possível obter uma relação entre a taxa de extracção do recurso e o stock do mesmo, representada por \dot{S}_t , e designada como taxa de variação do stock:

$$\dot{S}_t = -R_t, S_0 \text{ dado}; R_t, S_t \geq 0 \quad (2.3.)$$

Observando a equação (2.2.), pode concluir-se que $\lim_{t \rightarrow \infty} R_t = 0$, ou seja, o fluxo de serviços obtidos de um recurso não renovável no longo prazo deve ser nulo.

Por hipótese, os custos de extracção são tão insignificantes que podem ser ignorados, sendo o preço do recurso extraído igual ao do recurso não extraído. À semelhança do que já havia sido defendido por JEAVONS(1865), HOTELLING considera a oferta de recursos estritamente limitada. As condições da procura são conhecidas pelas empresas e apresentam-se inalteráveis. O mercado funciona em concorrência perfeita e as empresas são *price-taker*, sendo o preço de mercado definido pelas forças da oferta e da procura (NEHER, 1990:

93-94). Um depósito mineral por explorar é considerado um activo natural, competindo com outros activos na economia, ao longo da trajectória de extracção.

Assume-se que o tempo é medido de uma forma discreta em intervalos de amplitude θ e considera-se a existência de um activo numerário cuja taxa de rendimento no intervalo $(t, t+\theta)$ é r_t (>0). Ao nível micro, as empresas proprietárias de um recurso mineral terão de decidir, momento a momento, se extraem o recurso e o vendem ao preço P_t , (onde p_t é o preço unitário em concorrência do recurso em t) ou se o conservam e optam por vendê-lo no futuro. A equação de equilíbrio estabelecida irá ligar os dois activos (DASGUPTA e HEAL, 1979: 155).

Uma empresa detentora de P_t unidades monetárias de um activo no momento t ganha $(1+r_t\theta)p_t$ unidades monetárias em $(t+\theta)$. Como alternativa, pode vender o recurso em $(t+\theta)$ recebendo $p_{t+\theta}$ unidades monetárias. Em concorrência perfeita a empresa será indiferente às duas alternativas (DASGUPTA e HEAL, 1979: 156).

O problema da escolha entre os dois activos, e de acordo com o que foi referido, pode ser expresso da seguinte forma:

$$p_{t+\theta} = (1 + r_t\theta)p_t \quad (2.4)$$

Em termos contínuos ($\theta \rightarrow 0$), vem que

$$\frac{\dot{p}_t}{P_t} = r_t \text{ sendo } \dot{p}_t = \frac{dp}{dt} \quad (2.5.)$$

A equação (2.5.) formaliza um princípio fundamental dos recursos não renováveis, sendo conhecida pela *Princípio de HOTELLING*. A única forma de uma recurso não extraído permitir ao seu proprietário obter um ganho é atribuir-lhe um valor. Em condições de concorrência perfeita, a taxa de rendimento do capital obtida pelo recurso deve ser igual à taxa de rendimento obtida noutros activos.

Outra conclusão importante a retirar, refere-se ao andamento do preço de mercado do recurso, não constante ao longo do tempo, mesmo com r_t constante. Desta forma, não existem estados estacionários (DASGUPTA e HEAL, 1979: 157).

(a) Introdução da curva da procura: Em termos de fluxos, a determinação do equilíbrio torna necessária a introdução da curva da procura do recurso (em termos de fluxo, a procura de R_t). Por hipótese, as suas condições são perfeitamente conhecidas pelos empresários e a sua elasticidade ($1/\alpha$) em relação às quantidades é superior à unidade (procura iso-elástica). A procura pode ser representada pela função,

$$R_t = D(p_t, t) = p_t^{1/\alpha} \text{ onde } \alpha > 0 \quad (2.6.)$$

Com r constante e positivo, pode-se obter a trajectória do preço de mercado do recurso integrando a equação (2.5.) e representando por p_0 o preço do recurso no momento inicial, constante ao longo de toda a trajectória de extracção (NEHER, 1990: 277):

$$p_t = p_0 \exp(rt) \quad (2.7.)$$

Tendo início a extracção em $t=0$ e considerando S_0 como o stock inicial do recurso, a trajectória de extracção pode ser obtida através da substituição do resultado obtido em (2.7.) na equação (2.6.), vindo que,

$$R_t = p_0^{-1/\alpha} \exp\left(-\frac{r}{\alpha} t\right) \quad (2.8.)$$

A sequência de igualdades descrita permite, a cada instante, obter o equilíbrio entre mercado de fluxos do recurso e o mercado de activos [equações (2.6.) e (2.8.)] e o preço de equilíbrio satisfará ambas as equações (DASGUPTA e HEAL, 1979: 160).

Contudo, o preço inicial, P_0 , não é conhecido, e a sua determinação pode não coincidir com o preço óptimo. O estudo das consequências deste facto exige um maior tratamento das equações estabelecidas.

Integrando a equação 2.8.,

$$\int_0^t R_t dt = \int_0^\infty p_0^{-1/\alpha} \exp\left(-\frac{rt}{\alpha}\right) dt = \frac{\alpha}{r} p_0^{-1/\alpha} \quad (2.9.)$$

O preço inicial óptimo assegurará a igualdade entre extracção do recurso e a procura do mesmo, o que pode ser representado pela igualdade,

$$p_0^* = \left(\frac{rS_0}{\alpha}\right)^{-\alpha} \quad (2.10)$$

Substituindo P_0^* na equação (2.9.), vem que a taxa de extracção será $R_t = (rS_0/\alpha) \exp(-rt/\alpha)$, decrescendo à taxa r/α , ou seja, diminui ao longo da curva da procura com o aumento do preço.

Graficamente:

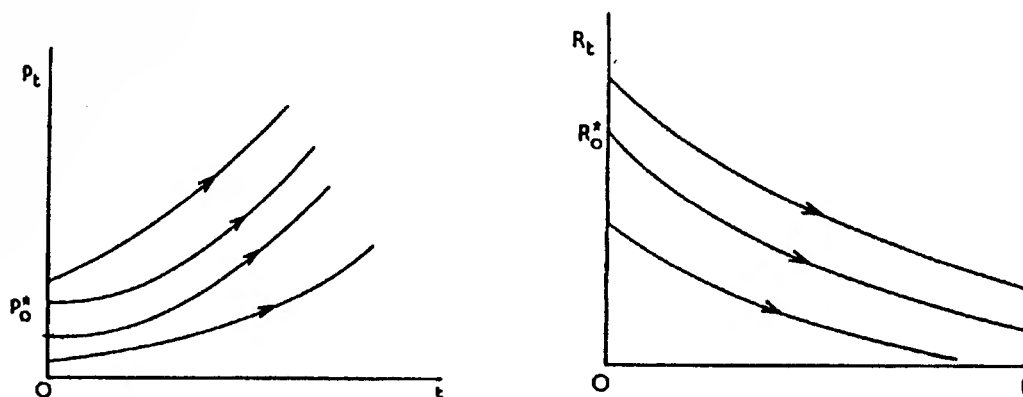


Fig.2.1.-Comportamento do preço de mercado e da taxa de extracção (Dasgupta e Heal, 1979: 162)

Mas o que acontece quando o preço inicial estabelecido é diferente do preço inicial ótimo? Podemos ter duas situações.

1º. Caso: Supondo que foi escolhido um $p_0 > p_0^*$, e p_t será demasiado elevado em cada momento e o fluxo de extracção será demasiado baixo, não chegando a esgotar-se a reserva inicial, isto é, o recurso será sub-aproveitado (vd. fig. 2.1.). Poder-se-ia ter extraído um pouco mais do recurso sem se esgotar o stock. Este resultado corresponde a uma situação de ineficiência. Note-se que tal não deve ocorrer, caso as empresas tenham uma visão de longo prazo e os mercados dos futuros funcionem. Apenas se verifica porque os agentes são míopes e esperam que o preço cresça a uma taxa r a cada momento, sendo as suas expectativas satisfeitas (DASGUPTA e HEAL, 1979: 162).

2.º Caso: Se $P_0 < P_0^*$, p_t será demasiado baixo e a taxa de extracção demasiado alta (vd. fig. 2.1.). Claramente, a continuação deste processo implicará o esgotamento rápido do recurso. Mas provavelmente isto não acontecerá, pois se os proprietários do recurso tiverem conhecimento da proximidade do seu esgotamento, haverá ganhos significativos para quem "guardar" parte do stock até à data do esgotamento, para depois vender o recurso. Mas este desequilíbrio dificilmente será sustentável: se os *traders* reconhecerem a existência de uma procura positiva para o recurso mesmo a preços elevados, e se o preço actual não é muito elevado e a reserva estiver à beira da exaustão, utilizarão esta informação para tomarem

decisões. Esta é, então, uma situação, ao contrário da primeiramente descrita, que dificilmente se verificará (DASGUPTA e HEAL, 1979: 163).

A trajectória de extracção fica mais clara recorrendo a uma exposição gráfica (vd. fig. 2.2.). A trajectória do preço é determinada pela *Princípio de HOTELLING* e está representada no quadrante superior direito. A procura do recurso está representada no painel superior esquerdo. O quadrante inferior esquerdo mostra a relação entre quantidades procuradas (extraídas), o tempo e a quantidade extraída acumulada (área situada na parte inferior da curva). Por último, o quadrante inferior direito corresponde ao quadrante *dummy*: a linha a 45° permite transferir a medida do tempo no eixo inferior vertical para o eixo horizontal do lado direito.

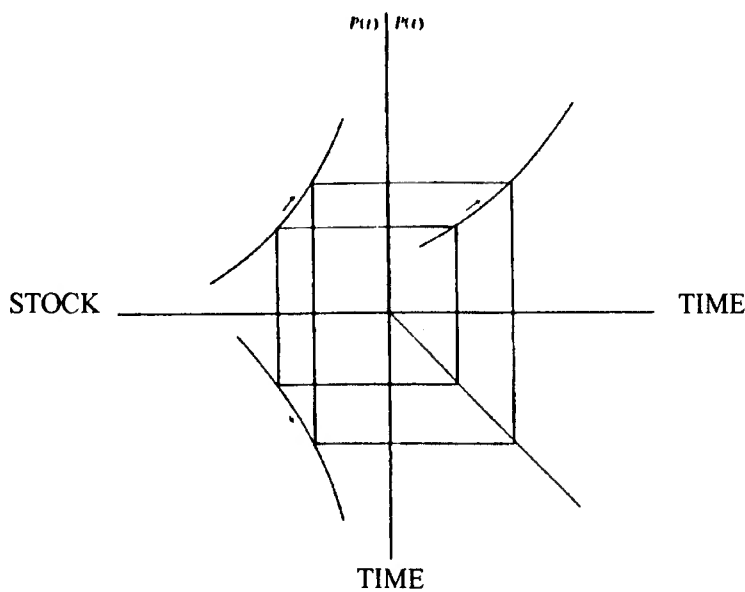


Fig. 2.2. - Ajustamento do preço e da trajectória de extracção (NEHER, 1990 : 97)

(b) Introdução dos Custos de extracção: Considerou-se até aqui que os custos de extracção eram nulos. Consequentemente, o preço do recurso extraído é igual ao preço do recurso não extraído. Mas se os custos forem positivos, os dois preços serão diferentes, sendo o preço do recurso extraído p_t , e o preço do recurso não extraído $p_t - C$, com C a representar o custo de extrair o recurso.

O preço do recurso não extraído pode ser designado por *user cost*, *royalty*, renda ou preço líquido do recurso, conforme os autores; neste caso, adoptou-se a designação de renda. Efectivamente, ao contrário de outros bens e recursos, os recursos não renováveis, como já foi referido, existem em quantidades limitadas na natureza e não são reprodutíveis. Isto quer dizer que a sua extracção e utilização no presente vai ter um custo de oportunidade, representado pelo valor que esse recurso poderia vir a ter numa data futura. Este custo deve ser considerado na gestão dos recursos não renováveis e deixa de ser válida a condição de eficiência

em concorrência perfeita $\text{preço} = \text{Custo Marginal}$, passando-se a considerar a condição $p = \text{Custo Marginal} + \text{Custo de Oportunidade}$ (vd. fig. 2.3.). Esta é uma das condições para a optimização da extracção, cujo significado se salda pela menor quantidade extraída, comparativamente a uma situação em que os recursos são renováveis (FISHER, 1981: 12).

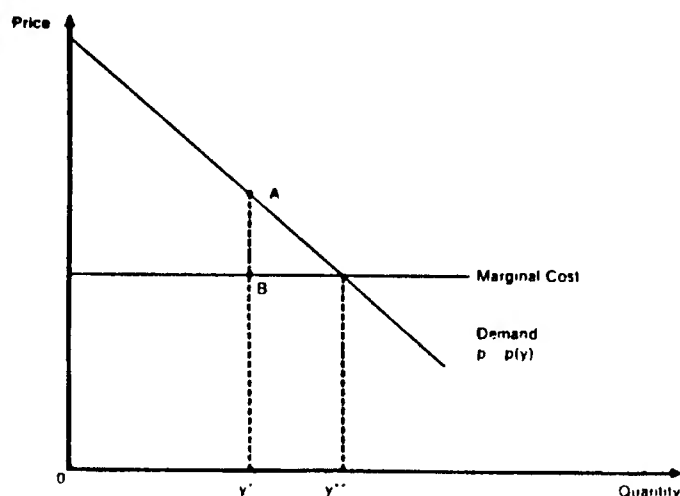


Fig. 2.3. - Relação entre custo marginal e preço (FISHER, 1981: 13).

Por hipótese, considera-se o custo médio de extracção igual a uma constante $b > 0$ (rendimentos constantes à escala), sendo o custo marginal igual ao custo médio (MILLER e UPTON, 1985: 5).

Representando o preço de mercado do recurso extraído por q_t e o preço do recurso não extraído por p_t , tem-se

$$q_t = p_t + b \quad (2.11)$$

Substituindo p_t pela equação (2.7.), obtem-se

$$q_t = b + p_0 \exp(rt) \quad (2.12.)$$

Com p_0 desconhecido, é necessário estimar o preço inicial óptimo (p_0^*), que assegura a igualdade entre as quantidades extraídas do recurso (fluxo representado pela procura) e o stock inicial do mesmo.

Igualando q_t às quantidades procuradas do recurso, e supondo que a curva da procura é iso-elástica, tem-se $q_t = b + p_0 \exp(rt) = R_t^{-\alpha}$, com a trajectória de extracção representada por $R_t = \{b + p_0 \exp(rt)\}^{-1/\alpha}$.

O esgotamento do recurso verificar-se-á quando

$$S_0 = \int_0^{\infty} R_t dt = \int_0^{\infty} \{b + p_0 \exp(rt)\}^{-1/\alpha} dt \quad (2.13.)$$

O preço inicial óptimo, p_0^* , é a solução para (2.13.). Assumindo que $\alpha=1$, tem-se:

$$S_0 = \frac{1}{br} \log \left(\frac{b + p_0^*}{p_0^*} \right),$$

donde,

$$p_0^* = \frac{b}{\{\exp(brS_0) - 1\}} \quad (2.14.)$$

Substituindo (2.14.) na equação (2.13.), obtem-se o preço do recurso extraído em função do preço inicial óptimo:

$$q_t = b + p_0^* \exp(rt) = b + \frac{b \exp(rt)}{\{\exp(brS_0) - 1\}} \quad (2.15.)$$

Observando a equação (2.15.), pode concluir-se que o andamento do preço de mercado do recurso extraído depende da reserva inicial do recurso (S_0). Se a reserva inicial é elevada, o preço inicial óptimo é inferior e q_t aproximando-se de b . O preço do recurso não extraído cresce à taxa r . Mas q_t cresce a uma taxa variável, inferior a r , na medida em que,

$$\dot{q}_t / q_t = r p_0^* \exp(rt) / (b + p_0^* \exp(rt)) < r$$

i.e., a componente custo domina nos períodos iniciais. Mas à medida que a reserva vai diminuindo, o esgotamento do recurso vai-se tornando cada vez mais importante e a componente *renda do recurso* (resultante da sua escassez) domina a evolução. No longo prazo podemos ter $q_t \approx p_t$ e o preço do recurso extraído passa a crescer à taxa r (vd. fig. 2.4.).

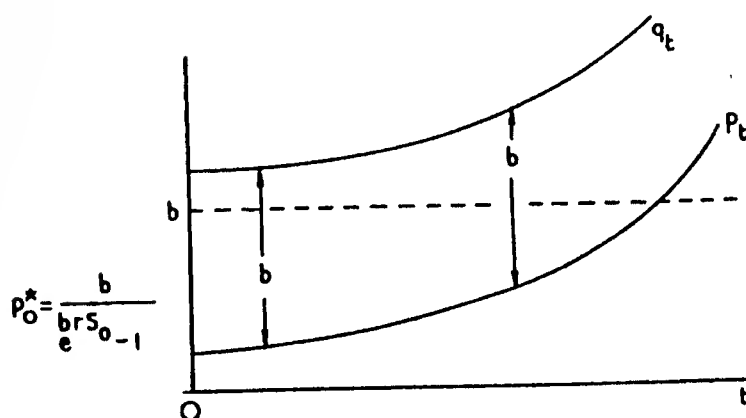


Fig. 2.4. - Evolução do preço de mercado com custos de extração (DASGUPTA e HEAL, 1979: 171)

2.2.2. Modelo de HOTELLING: Função composta dos custos de extração

Considerou-se até aqui que os custos de extração eram constantes. HOTELLING deu alguns passos no sentido de abandonar esta hipótese, ao estudar as consequências para o modelo ao considerar os custos como função da produção acumulada (MILLER e UPTON, 1985: 8).

Por hipótese, os depósitos existentes do recurso apresentam características semelhantes, ignorando-se as diferenças de qualidade. Seja C o custo de extrair o recurso à taxa R , quando a reserva tem a dimensão S . Pode-se escrever a função custos como sendo

$$C = f(t)R_t g(R_t)G(S_t) \text{ onde } f'(t) < 0 \text{ e } G'(S) < 0 \quad (2.16.)$$

A introdução de t , permite considerar na função custo o efeito do progresso técnico. Este efeito será abordado no sub-capítulo 2.4.. R_t define a quantidade extraída no período t , sendo os custos de extração crescentes com o aumento da quantidade extraída. Finalmente, os custos de extração dependem também da reserva remanescente do recurso no momento t , (S_t) , considerando-se que $G'(S) < 0$, i.e., quanto menor for o stock remanescente, maiores serão os custos de extração de uma unidade de recurso.

A justificação para este último comportamento da função custo pode ser encontrada nos economistas clássicos. Como RICARDO (1817) sugerira, parece plausível que depósitos de maior qualidade (de custo inferior) de um recurso não renovável, sejam os primeiros a ser explorados, tal como a melhor terra deve ser primeiramente cultivada. Mais tarde, MILL (1848) defenderia que custos crescentes

verificam-se à medida que se explora um depósito em maior profundidade e com decrescente quantidade de recurso. Em ambos os casos, o custo tende a aumentar com a crescente exploração do stock (FISHER, 1981: 24).

Retomando o modelo em estudo, p_t continua a ser o preço de mercado do recurso não extraído e q_t o preço de mercado do recurso extraído. Vem que

$$q_t = p_t + \frac{\partial C}{\partial R_t} \quad (2.17)$$

determinando q_t o fluxo do recurso que equilibra o mercado. A taxa r continua a ser a taxa de rendimento resultante da posse de um activo em numerário. Se esta taxa for calculada a partir de uma unidade marginal do stock, terá duas componentes: a primeira corresponderá aos ganhos de capital obtidos pelo stock (ganho semelhante ao já referido no modelo anterior); a segunda componente consistirá na "redução" dos custos devido à não extracção dessa unidade marginal. A equação de equilíbrio estabelece a igualdade entre estas duas componentes.

Considerando uma empresa detentora de p_t unidades de activo em numerário em t . Se investir essas unidades, tem garantia de ganhar $(1+r)p_t$ unidades de numerário em $t+\theta$. Em alternativa, pode não extrair o recurso em t , e vendê-lo em $t+\theta$. O máximo que vai receber nesta data não é $p_{t+\theta}$ unidades em numerário, mas sim $p_{t+\theta} + (\Delta C)\theta$ unidades de numerário, onde (ΔC) representa a "redução" nos custos de extracção durante $(t, t+\theta)$ devido ao facto de uma unidade adicional do recurso continuar por extrair. Em concorrência, a empresa será indiferente entre estas duas opções. Teremos então, $p_{t+\theta} + (\Delta C)\theta = (1+r)p_t$.

Considerando $\theta \rightarrow 0$, vem que

$$\frac{\dot{p}_t}{p_t} - \frac{\partial S_t}{\partial p_t} = r \quad (2.18.)$$

Utilizando a equação (2.16.) na equação (2.18.), obtem-se:

$$\frac{\dot{p}_t}{p_t} - \frac{f(t)R_t g(R_t) G'(S_t)}{p_t} = r \quad (2.19.)$$

Esta condição descreve o equilíbrio no mercado de activos. Se a procura dos recursos extraídos não se alterar e for iso-elástica [ver equação (2.3.)], utilizando as equações (2.16.) e (2.17.), encontra-se a condição de equilíbrio para o fluxo de recurso extraído :

$$R_t = \{p_t + f(t)g(R_t)G(S_t) + f(t)g'(R_t)G(S_t)\}^{-1/\alpha}$$

A trajectória do preço de mercado (q_t) do recurso extraído é extremamente complexa. É claro que $\dot{p}_t/p_t \leq r$, na medida em que $G'(S) < 0$. Para além disso, se os custos de extracção diminuírem rapidamente ao longo do tempo (resultado p.e. de uma inovação tecnológica), é possível que q_t também diminua durante um certo período de tempo.

Temos então que o preço do recurso extraído apresenta duas componentes: o custo marginal e a renda. O comportamento destas componentes influencia a decisão da empresa, pois a diminuição do stock afecta positivamente os custos de extracção das restantes unidades; não extrair representa um dividendo na forma de poupança nos custos.

Neste caso, a renda não aumenta à taxa r , mas sim à taxa r menos o aumento percentual do custo resultante da extracção de uma unidade adicional de recurso. A igualdade verificada anteriormente (a renda aumenta à taxa r e o valor presente da extracção de uma unidade de recurso é igual em todos os períodos) deixa de verificar-se, já que o valor actualizado da extracção vai ser influenciado pelos custos de extracção mais elevados no futuro. A taxa de crescimento da renda do recurso deve ser igual ao custo de oportunidade de diferir a extracção (poupanças nos custos de extracção no futuro, ΔC , deduzidas na taxa r) Este resultado foi alcançado por diversos autores (CUMMINGS, 1969; SCHULZE, 1974; WEINSTEIN e ZECKHAUSER, 1975; PETERSON e FISHER, 1977).

Mas, em geral, as alterações nos custos são indeterminadas, bem como as alterações na renda, conferindo uma certa indeterminação às alterações dos preços ao longo do tempo. Contudo, casos especiais podem ser estudados, dependendo da forma da função custo (FISHER, 1981:31). Para um aprofundamento do assunto ver CHAKRAVORTY e ROUMASSET (1990) e FARZIN (1992).

As diferenças de qualidade nos stocks detidos pelo mesmo proprietário, originam diferentes custos de extracção (resultado já defendido por RICARDO). A conclusão implícita no seu estudo é a de que depósitos de melhor qualidade serão

primeiramente explorados. Este resultado foi estudado de forma mais rigorosa por alguns autores (HARTWICK, 1978; DASGUPTA e HEAL, 1979).

Finalmente, considera-se relevante aludir à importância das alterações tecnológicas. Quando estas estão relacionadas com o tempo (t), os custos podem ser escritos como função das mesmas. Neste caso, considerando que as alterações tecnológicas diminuem os custos, então diminuem também a taxa de crescimento dos preços, podendo mesmo causar a sua diminuição (FISHER, 1981: 60). KAMIEN e SCHWARTZ (1978) consideraram as alterações técnicas como sendo endógenas ao modelo, sendo conhecida a data do seu aparecimento e a influência do desenvolvimento do esforço de prospecção.

2.2.3. Taxas de Actualização

A análise económica tende a assumir que uma unidade de benefício/custo é mais importante, quando experimentada no presente, do que no futuro. Esta diminuição da importância atribuída aos ganhos/perdas no futuro é designada por actualização. Desta forma, quanto maior for a taxa de actualização, menor será a importância conferida ao futuro e, conseqüentemente, menor será a conservação do stock de capital natural, colocando em causa o *desenvolvimento sustentável* (PEARCE e TURNER, 1990: 211).

A existência da taxa de juro, já referida quando se tratou o rendimento dos activos, explica a taxa de actualização. Considerando uma dada quantidade de dinheiro P no **ano 1**, acumulará $P(1+r)$ no **ano 2** se a taxa de juro for $r\%$.

Olhando para o resultado numa outra perspectiva, se esta quantidade de dinheiro estivesse disponível no **ano 1**, poderia ser investido à taxa r e obter o mesmo resultado no **ano 2**. Daqui resulta a fórmula geral para a actualização: $B_t/(1+rt)$. O valor do benefício (B_t) é actualizado para o **ano 1**. A taxa utilizada para calcular o valor presente dos benefícios/custos é conhecida por *taxa de actualização*.

Taxa de actualização e taxa de juro são sinónimos, ou quando pagamentos futuros são actualizados, ou quando pagamentos presentes são acumulados.

Na determinação da taxa de juro, pode-se recorrer à explicação dada pela teoria neoclássica: as decisões individuais de investimento são passíveis de agregação numa curva de oferta para os fundos de investimento, determinando o total de fundos que os investidores desejam tornar disponíveis a cada taxa de juro i .

Existe uma taxa de juro mínima, i_0 , abaixo da qual não se realizarão investimentos. Para $i > i_0$ a curva de oferta é uma função crescente da taxa de juro. Supostamente, a taxa de juro inicial deve reflectir a taxa de preferência do tempo da sociedade.

Por definição, o investimento corresponde ao aumento de um activo de capital K . Representando-se $f(K)$ como a produtividade do capital (ou seja, a taxa de ganhos de um stock de capital de dimensão K) e a produtividade marginal por $f'(K)$ (que se assume ser função decrescente em relação a K) e que corresponde à taxa de juro máxima que o proprietário do capital pode pagar por fundos de investimento adicionais. No curto prazo, a igualdade entre oferta e procura no mercado de fundos de investimento exige que $f'(k)=i$.

Sempre que $i \geq i_0$, a oferta de fundos para investir é positiva. O nível de K aumenta e a sua produtividade marginal decresce. O processo continua até ao momento em que $K=K_0$, altura em que cessa o investimento e o crescimento do capital e tem lugar a igualdade $f'(K_0)=i_0$. Em equilíbrio, obtemos a igualdade entre taxa de juro, produtividade marginal do capital e taxa de preferência social do tempo.

A relação entre taxa de juro e produtividade do capital, aplicada ao conjunto da economia, também é válida para a decisão de investimento de uma empresa individual. Esta, ao decidir efectuar o investimento, terá de ter certeza que não existe nenhum investimento alternativo com taxas de ganho superiores. O investimento ΔK será apenas realizado se $f'(K)$ for igual ao custo de oportunidade marginal do capital, ou seja, a taxa de ganho da alternativa de investimento mais lucrativa. Para além disso, a empresa deverá assegurar que $f'(K) \geq i$, onde i representa a taxa de juro da economia, pois só assim a empresa tem garantia de poder efectuar um empréstimo à taxa i (CLARK, 1990: 72).

Na realidade, os mercados de capitais nunca são perfeitos, conhecendo diversas distorções provocadas pelos impostos, pelo risco e pela incerteza. Grande parte dos economistas defende que o mercado determina taxas de juro e custos de oportunidade do capital acima da taxa social óptima de preferência, em relação ao tempo.

Os recursos naturais não renováveis, que não são alvo de extracção, podem ser considerados como bens de capital para a sociedade, com a única diferença de os primeiros não serem infinitos ou reprodutíveis (SOLOW, 1974a: 2).

O stock do recurso retira o seu valor da perspectiva de extração e venda. Não sendo extraído, a única forma de produzir um ganho para o seu proprietário é

através da sua apreciação em valor. No mercado de activos, o equilíbrio obtém-se apenas se, dentro da mesma classe de risco, os activos apresentarem a mesma taxa de rendimento, resultado dos dividendos e ganhos de capital. Como no caso dos recursos não renováveis não se obtém dividendos enquanto não forem extraídos, em equilíbrio o valor do depósito deverá ser igual à taxa de juro.

Na medida em que o valor do stock corresponde também ao valor presente das vendas futuras do recurso, depois de retirados os custos de extracção, espera-se que o preço líquido do recurso cresça exponencialmente a uma taxa igual à taxa de juro. Este é o princípio fundamental da teoria dos recursos não renováveis.

Utilizando apenas o critério da eficiência, exige-se que os ganhos obtidos ao afectar o investimento a outro activo sejam nulos. Atendendo que não existem dividendos neste caso, o ganho deve resultar de um ganho de capital ou de um aumento do valor do activo. Mas como o valor é, como já se referiu, igual à diferença entre o preço e o custo de extracção, a extracção é ajustada ao longo do tempo de forma a que esta diferença (a renda) cresça à taxa de juro da economia (FISHER, 1981: 16 -17).

Em resumo, existem duas condições essenciais na determinação da trajectória óptima de extracção:

- O custo de oportunidade de extracção deve ser considerado, uma vez que os recursos são não renováveis (extrair hoje implica que exista menos para extrair amanhã e, logo, os lucros serão inferiores);
- O valor actual do custo de oportunidade deve ser o mesmo em todos os períodos, ou seja, a renda não actualizado deve crescer à taxa de juro.

Mas sendo os mercados imperfeitos, poder-se-à afirmar que o equilíbrio obtido pode divergir da trajectória de extracção eficiente. Por outro lado, se, como alguns economistas defendem, a taxa de actualização, do ponto de vista da sociedade, ficar abaixo da taxa utilizada pelos agentes económicos individuais (LECOMBER, 1979: 95), o ritmo de extracção será demasiado elevado e os recursos tenderão a esgotar-se mais rapidamente. Então, para além de se considerar critérios de eficiência, estará, também, presente a preocupação com as gerações vindouras.

Alguns autores como RAMSEY (1928) e PIGOU (1932) defenderam que as utilidades das gerações futuras não deveriam ser consideradas nas decisões presentes. Em projectos de âmbito social, não existem motivos para as gerações

não serem tratadas de forma igual, já que o horizonte temporal é bastante alargado. Caberia às entidades governamentais preocuparem-se com as gerações futuras, o que se torna extremamente difícil em democracia, já que é da satisfação dos interesses da geração actual que advêm os melhores resultados eleitorais.

Actualmente existem inúmeras taxas de juro, o que vai contra a condição da existência de uma taxa de juro uniforme para uma afectação inter-temporal óptima. Para simplificar, distinguem-se dois grupos de taxas que, dentro deles, também registam diferenças: os ganhos resultantes do investimento dos ganhos obtidos na poupança (LECOMBER, 1979: 97).

No que respeita aos ganhos de investimento, as variações podem ser explicadas pela divergência existente entre ganhos esperados e ganhos obtidos, bem como pelo risco (o prémio de risco é incluído no ganho exigido) e pelo custo dos empréstimos (que depende do risco). O prémio de risco privado pode ser elevado demais, numa perspectiva social. A taxa de actualização geralmente utilizada nos investimentos públicos ronda os 10% e considera-se que tem em conta um risco muito baixo. Mas os privados apresentam uma capacidade inferior de suportar o risco e a sua taxa pode ser demasiado elevada.

Por outro lado, é necessário ter em conta os impostos sobre o lucro das empresas, sobre o capital e sobre o rendimento (SOLOW, 1974a: 9). Ao indivíduo interessam os ganhos obtidos após retirados os impostos e à sociedade interessam os ganhos antes dos impostos.

Para além destas duas explicações, a ausência ou incipiente preocupação com as gerações futuras pode ter outras razões (LECOMBER, 1971:98):

- A geração actual atribui maior peso à sua utilidade do que à utilidade das gerações futuras. As taxas de actualização são positivas porque as pessoas preferem obter os benefícios agora e não mais tarde, apresentando o que se designa por *time preference*;
- Perspectiva de que no futuro existirá maior riqueza, proporcionada pelo progresso técnico;
- A existência de imperfeições no mercado, como sejam os monopólios, externalidades, etc.;
- Incerteza social: não se sabe se daqui a alguns anos, e face a previsões pessimistas resultantes das alterações climáticas, existirá vida humana sobre a

superfície terrestre. O aumento da taxa de desconto deve-se a uma menor valorização dos benefícios até a essa data.

Apesar destas considerações, a geração actual não se revela tão egoísta (FISHER, 1981:70). O consumo das gerações futuras é considerado um bem público para os membros da geração actual, que retiram alguma satisfação da perspectiva de um futuro brilhante para a civilização, indo ao encontro da ideia de a taxa social ser inferior à taxa privada de actualização.

Na óptica do bem-estar, otimizar a taxa de extracção significa maximizar o valor actual do recurso, utilizando diferentes decisores, diferentes indicadores de valor. Do ponto de vista social, o objectivo é, também, o de maximizar o valor presente, mas, neste caso, do excedente do consumidor e do produtor. O critério é o mesmo: o valor dos recursos é determinado pela soma dos valores ao longo de diferentes períodos ou gerações.

Esta perspectiva utilitarista foi contestada por RAWLS (1971), defendendo que a maximização do bem-estar seria obtida com a maximização da utilidade das pessoas mais pobres. Este critério passou a ser utilizado para avaliar programas inter-geracionais, mas SOLOW (1974b) viu nele uma dificuldade. A utilização do critério *maxmin* na determinação de nível de consumo maior e sustentável, sujeito à restrição de acumulação de capital e de disponibilidade de recursos naturais, exige que o stock inicial de capital seja elevado. Se for pequeno, estamos a sacrificar o consumo para sempre, porque não se deve sacrificar o consumo para acumular capital no caso de uma geração que começa com muito pouco (FISHER, 1981: 72).

Em resumo, quanto maior for a taxa de actualização, maior será a discriminação em relação às gerações futuras. Primeiro, os projectos com custos sociais que ocorrerão no futuro e benefícios sociais que ocorrem no curto prazo, passarão no teste da análise custo-benefício, quanto maior for a taxa de actualização. Segundo, os projectos com benefícios sociais no futuro tendem a ser menos favorecidos por esta análise, com taxas de actualização elevadas. Terceiro, quanto mais elevada for a taxa de actualização, menor será o nível de investimento e o nível de stock de capital herdado pelas gerações futuras (PEARCE e TURNER, 1990: 221).

No entanto, os interesses das gerações futuras podem ser salvaguardados pelo Estado, guardião do bem-estar colectivo, sempre que a taxa de actualização dos projectos públicos for inferior à taxa de actualização do mercado.

2.3. EXPLORAÇÃO COM DIRECÇÃO CENTRAL ÚNICA OU EM CONCORRÊNCIA

Até aqui considerou-se a existência das condições de concorrência perfeita. Se o mercado dos recursos for competitivo, os proprietários do recurso exploram o mesmo a uma taxa óptima em termos sociais. Na realidade, os mercados são imperfeitos, situação muito usual nos recursos naturais, o que se reflete, por vezes, no comportamento da taxa de extracção e na trajectória do preço. Primeiramente será abordado o caso do monopólio puro, *i.e.*, uma única empresa a oferecer o recurso.

Numa situação de monopólio, surge como hipótese natural a restrição da taxa de extracção e um aumento do preço, comparativamente à situação de concorrência perfeita, constatação feita também por HOTELLING. Este reconheceu que o resultado depende do comportamento da procura. Para o monopolista, o *Princípio de HOTELLING* sugere que o rendimento marginal (e não o preço) crescerá à taxa de juro r e o esgotamento do recurso seria adiado (DEVARAJAN e FISHER, 1981:67).

Esta conclusão é meramente intuitiva e exige um aprofundamento das principais condicionantes da decisão do monopolista. Supondo que o monopolista detém uma reserva S_0 do recurso, enfrentando uma curva da procura $p(R_t, t)$, com declive negativo, onde p corresponde ao preço de venda de R_t no momento t . O activo em numerário obtém um ganho de r ($r > 0$). O monopolista está preocupado em maximizar o valor actualizado dos lucros resultantes da venda do recurso.

Considerando como hipótese que os custos são nulos, o problema é então o de escolher uma política de extracção R_t maximizadora da receita total:

$$\int_0^{\infty} p(R_t, t) R_t \exp(-rt) dt$$

$$\text{sujeito à restrição } \int_0^{\infty} R_t dt \leq S_0 \text{ e } R_t \geq 0.$$

A função do lucro líquido instantâneo é estritamente concáva em R , pois só assim se poderá obter solução para o problema. Consequentemente, o lucro marginal diminui com o aumento das quantidades extraídas. Com custos nulos, a função procura satisfaz a propriedade $(\partial^2 / \partial R^2) \{p(R, t) R\} < 0$. Seja m_t o rendimento marginal no momento t , tal que $m_t = (\partial / \partial R) \{p(R, t) R\}$. O

monopolista vai continuar a extrair o recurso enquanto o crescimento do rendimento marginal líquido for igual à taxa r . Formalmente,

$$\frac{\dot{m}}{m} = r \quad (R_t > 0) \quad (2.20)$$

Recorrendo a previsões e considerando o stock como um activo, o monopolista tem de decidir entre extrair e vender uma unidade de recurso ou adiar a sua venda até $t+\theta$. Se vender em t , aumenta o seu lucro líquido em m_t , representando este último o custo de oportunidade por adiar a venda do recurso. O rendimento obtido deste adiamento corresponde à diferença entre os ganhos da venda em $t+\theta$ e a venda em t , comparativamente ao custo de oportunidade, ou seja, $(m_{t+\theta} - m_t)/\theta m_t$.

Se $\theta \rightarrow 0$, estamos em presença da equação (2.20.) e o ganho do monopolista é igual ao do proprietário em situação de concorrência perfeita.

A partir da equação (2.20.), é possível estabelecer a seguinte igualdade:

$$m_t = \frac{\partial}{\partial R_t} \{p(R_t, t) R_t\} = p(R_t, t) + R_t \frac{\partial p}{\partial R_t}.$$

Para simplificar, considera-se que a curva da procura apresenta um ajustamento uniforme ao longo do tempo, $p_t = f(t)p(R_t)$.

Seja $\eta(R) = \frac{p(R)}{R} \frac{dR}{dp} \leq 0$, vem que

$$m_t = p_t \left(1 + \frac{1}{\eta(R_t)} \right) \quad (2.21.)$$

Escrevendo $\gamma(R_t) = \left(1 + \frac{1}{\eta(R_t)} \right)$ e diferenciando em ordem ao tempo a equação (2.21.), obtém-se:

$$\frac{\dot{m}_t}{m_t} = \frac{\dot{p}_t}{p_t} + \frac{\dot{\gamma}_t}{\gamma_t} \quad (2.22.)$$

Substituindo a equação (2.22.) em (2.20.), obtém-se ainda:

$$\frac{\dot{p}_t}{p_t} = r - \frac{\dot{\gamma}_t}{\gamma_t} \quad (2.23.)$$

Atendendo às condições impostas, o preço satisfará a condição

$$\frac{\dot{p}_t}{p_t} = r \quad (R_t > 0) \quad (2.24.)$$

Supondo que enfrentam uma procura idêntica, a comparação entre estas duas últimas equações permite analisar as diferenças entre o comportamento do monopolista e o da empresa competitiva, através da análise do sinal de $\gamma = d\eta/dR$, sendo o mesmo determinado pelo sinal da elasticidade da procura (DASGUPTA e HEAL: 1979:327).

(a) Elasticidade da procura constante: Neste caso, as duas equações são idênticas. Esta conclusão vai contra a teoria do monopólio puro, onde se considera que o monopolista diminui a produção e vende a preços mais elevados. Contraria também a afirmação feita no início do capítulo, onde se considerava o monopolista mais conservador do recurso (ver demonstração em DASGUPTA e HEAL, 1979: 326).

(b) Elasticidade variável : Podem-se constatar dois casos:

- **1.º Caso:** Quando a elasticidade da procura aumenta (em termos absolutos) com a diminuição de R ($d\eta/dR > 0$), aumentam os preços (a oferta diminui) e aumenta igualmente a possibilidade de surgirem substitutos para o recurso. Nesta situação, $\frac{\dot{p}}{p} \leq r$ e a trajectória do preço do monopolista surge mais inclinada, comparativamente à situação de concorrência perfeita. Efectivamente, o monopolista retira vantagens de uma procura relativamente inelástica inicialmente, aumentando o preço e restringindo a produção nos primeiros tempos (DEVARAJAN e FISHER, 1981: 68). Mas, no longo prazo, com a procura mais elástica, o monopolista apresenta um preço inferior ao preço em concorrência perfeita para vender as mesmas quantidades e manter a receita. Nesta situação o monopolista é conservador nos períodos iniciais, mas acelera a extracção para o final (vd. fig. 2.5.).

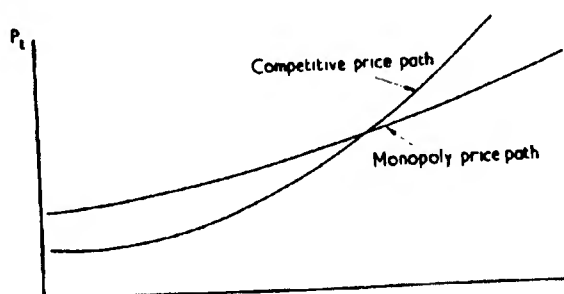


Fig. 2.5. - Trajectória do preço (DASGUPTA e HEAL, 1979: 329)

- **2.º Caso:** A elasticidade da procura em termos absolutos pode aumentar com o aumento da produção ($d\eta/dR < 0$). Nesta situação o preço inicial praticado pelo monopolista será mais baixo e a extracção, nos primeiros tempos, será mais elevada comparativamente à situação de concorrência perfeita. Para o final, o monopolista vai restringir a extracção e aumentar o preço (DASGUPTA e HEAL, 1979: 330). Este resultado (vd. fig. 2.6.) parece irrealista por duas ordens de razões: primeiro, porque à medida que o tempo passa, a possibilidade de surgir um substituto aumenta; segundo, porque acelerar a extracção pode implicar um crescimento do preço superior a r , criando oportunidades para uma arbitragem lucrativa (DEVARAJAN e FISHER, 1981: 68).

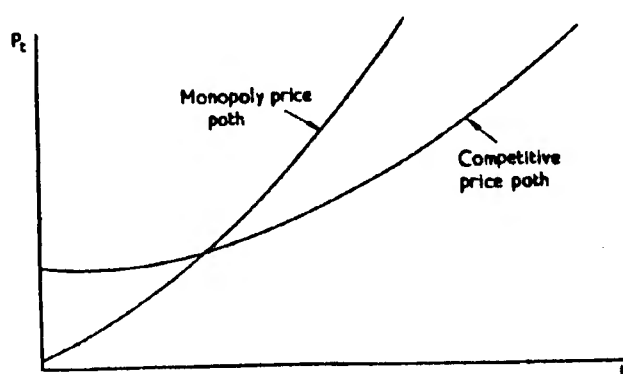


Fig. 2.7. - Trajectória do preço (DASGUPTA e HEAL, 1979: 330).

Tal como refere FISHER (1981: 39), existe uma tendência para o monopolista retardar a exaustão do recurso, num modelo onde o stock apresenta qualidades uniformes e é esgotável num tempo finito.

Será aceitável que ambas as situações descritas sejam uma realidade, apresentando a curva da procura uma elasticidade crescente relativamente às quantidades, mas também em relação ao preço, existindo um R em relação ao qual a elasticidade atinge o seu máximo. Neste caso, para qualquer R superior a este limite, está-se perante o segundo caso estudado. Para uma situação onde R é inferior a este limite, está-se no primeiro caso (DASGUPTA e HEAL: 1979: 332).

HOTELLING considerou também o caso de um número limitado de vendedores, uma situação intermédia mais próxima da realidade. Apenas se pretende deixar uma nota quanto a esta questão, muito embora existam vários estudos feitos, nomeadamente quanto ao comportamento de um cartel (PINDYCK, 1978a, DASGUPTA e HEAL, 1979).

Verifica-se que na situação de oligopólio e perante uma procura iso-elástica, onde os custos de extracção são negligenciáveis, o preço do recurso em situação

de oligopólio é igual da situação de concorrência. Se as duas hipóteses anteriores forem retiradas, a tendência é para o preço do oligopólio ser superior inicialmente e a extracção ser mais baixa (DASGUPTA e HEAL, 1979: 351-357).

2.4. INCERTEZA DO LADO DA OFERTA

2.4.1. Introdução

"What is the value of a mine when its contents are supposedly fully know, and what is the effect of uncertainty of estimate?"

Harold Hotelling in "The Economics of Exhaustible Resources" (1931: 139)

HOTELLING apenas se preocupou com a incerteza relacionada com as reservas. Contudo, esta é uma das muitas incertezas existentes no aproveitamento económico dos recursos naturais, mais tarde tratadas por diversos autores. As fontes de incerteza podem ser arrumadas em duas categorias: incerteza do lado da oferta e incerteza do lado da procura.

Na primeira, a preocupação dominante dirige-se para o conhecimento do stock. Se o recurso for homogéneo em termos de qualidade, mas a dimensão do stock não for conhecida, o proprietário explorará o recurso a uma taxa inferior comparativamente à situação de conhecimento absoluto do mesmo, resultando esta atitude mais conservadora de uma tentativa de evitar o esgotamento inesperado do recurso. Esta questão está fortemente relacionada com os esforços de prospecção e descoberta, que podem atenuar a incerteza neste campo.

Na segunda categoria, a incerteza do lado da procura afecta a taxa de extracção dos recursos e pode revestir-se de diversas formas (FISHER, 1981: 46):

- O aumento da taxa de actualização surge como resposta aos efeitos da incerteza do lado da procura, quando aquela está positivamente relacionada com o distanciamento temporal da decisão de extrair. O empresário está mais certo quanto à procura num futuro próximo do que num futuro longínquo. Se for avesso ao risco, ajustará a extracção para o presente, tal como aconteceria se a taxa de actualização aumentasse, resultando desta atitude numa subconservação do recurso (WEINSTEIN e ZECKHAUSER, 1975);

- Pelo contrário, se as receitas da venda do recurso evidenciarem uma relação com as quantidades extraídas num dado momento, embora a componente preço da

procura possa ser incerta, se estiver identicamente distribuída ao longo do tempo, os empresários não neutros em relação ao risco podem ajustar a extracção no sentido de adiar para o futuro a data de exaustão (LEWIS, 1977).

- Outro tipo de incerteza, ainda manifestada do lado da procura, refere-se ao momento de um acontecimento que destruirá o valor do recurso para o proprietário (p.e. uma descoberta de um substituto mais barato). DASGUPTA e HEAL (1974) estudaram os efeitos do aparecimento de tecnologias alternativas, disponíveis numa data desconhecida e exógena no modelo, demonstrando que o aumento da taxa de actualização reflecte os efeitos desta incerteza apenas quando a reserva é valorizada com essa inovação. No seu estudo, DASGUPTA e STIGLITZ (1975), tornaram o momento das descobertas endógeno (*cit.* PETERSON e FISHER, 1977: 699).

PINDYCK (1978: 1204) define a incerteza do lado da procura de uma forma ligeiramente diferente. A procura é modelada assumindo que a função se ajusta ao longo do tempo de forma incerta, mas contínua, seguindo um processo estocástico, i.e., a incerteza aumenta com o horizonte temporal.

ANDERSEN e ANDERSEN(1987) combinaram os modelos de WEINSTEIN e ZECKHAUSER(1975) com o de LEWIS (1977) e estudaram os efeitos da incerteza do lado da procura na extracção do recurso nos casos de monopólio e concorrência perfeita.

2.4.2. Incerteza do lado da oferta

As características da trajectória de extracção numa situação de incerteza quanto à dimensão das reservas foram examinadas por GILBERT (1976), HEAL (1978) e LOURY (1976). DASGUPTA e STIGLITZ (1976), HEAL(1978) e HOEL(1976) estudaram o comportamento da extracção, quando um substituto do recurso fosse introduzido num tempo incerto no futuro. Todos estes estudos consideraram que o produtor explora uma reserva fixa ao longo do tempo (*cit.* PINDYCK, 1978b: 842).

FISHELSON (1990) introduziu as descobertas estocásticas, i.e., considerou que as descobertas aumentam numa quantidade incerta, mas positiva.

2.4.2.1. Prospecção

Ao longo dos anos, as estimações da dimensão do stock dos recursos não renováveis vão sendo objecto de revisão. As explicações para este facto são de natureza diversa. Por um lado, assentam no aparecimento de novas tecnologias na área da prospecção e de novas técnicas de extracção, estas últimas viabilizadoras da exploração de reservas até aqui irrecuperáveis. Por outro, o aumento dos preços dos recursos poderá permitir a recuperação económica de reservas até aqui economicamente inviáveis (PEARCE e TURNER,1990:281).

As alterações tecnológicas podem também apresentar como resultado da sua introdução, um aumento da reserva. Nesta perspectiva, o seu tratamento é idêntico ao efectuado à introdução da actividade de prospecção. Efectivamente, a alteração na trajectória dos preços pode resultar de duas situações: a introdução de um processo que permita o aproveitamento de reservas até aqui inexploráveis, ou, descoberta de novos stocks.

Uma classificação correntemente utilizada pelos geólogos permite agrupar estas situações em duas grandes categorias: as **Reservas** (recursos identificados e exploráveis rentavelmente nas actuais condições económicas);e, os **Recursos Potenciais** (identificados, mas só exploráveis em condições económicas e tecnológicas mais favoráveis), os **Recursos Hipotéticos** (não identificados, sendo previsível a sua existência em regiões minerais conhecidas e podendo os seus teores ser económicos ou não), e os **Recursos Especulativos** (não identificados, de existência provável em regiões desconhecidas ou sob a forma não reconhecida ou não convencional).

Quadro 2.1.

Classificação Esquemática dos Recursos Globais da Crosta Terrestre

	RECURSOS IDENTIFICADOS	RECURSOS NÃO IDENTIFICADOS	
<i>Exploráveis</i>	RESERVAS	RECURSOS	RECURSOS
<i>Sub-económicos</i>	RECURSOS	HIPOTÉTICOS	ESPECULATIVOS
	CONDICIONAIS		

FONTE: BROBST e PRATT(1973: 722). SCHANZ (1980: 63-74).

Verifica-se pois que a delimitação do recurso não é bem definida, tal como o âmbito do stock, variável com o tempo em função dos custos de extracção e tratamento, processos de comercialização e avaliação de recursos existentes ou descoberta de novos recursos (DROLET, 1980).

De notar que no âmbito dos recursos potenciais se considera os que, embora não identificados, se inserem em contextos geológicos que indiciam uma forte probabilidade de ocorrência, e, os que embora identificados e presentemente exploráveis, perante variações de preços ou de custos de exploração, ou ainda aperfeiçoamento da tecnologia de extracção e tratamento, podem vir a tornar-se exploráveis.

Neste âmbito, a obtenção de maior informação sobre os depósitos arvora-se como uma das motivações fortes para o desenvolvimento da actividade de prospecção. A segunda motivação é a redução dos custos: a descoberta de novos stocks diminui os preços futuros esperados, conduzindo os empresários ao aumento da produção actual e, conseqüentemente, os preços correntes tendem a baixar.

Logo, a trajectória dos preços não é uma linha ascendente e linear (vd. fig. 2.7.), representando cada queda na sua trajectória o efeito de uma nova descoberta. O preço pode aumentar ligeiramente entre os "choques", mas a tendência de longo prazo é de diminuição, se a prospecção tiver êxito (FISHER, 1981: 55).

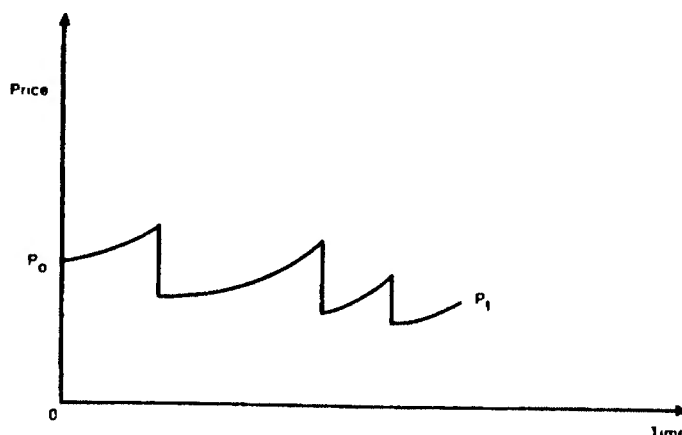


Fig. 2.7. - Trajectória do preço com descobertas não antecipadas (FISHER, 1981: 56).

Embora a prospecção apresente custos e resultados incertos, a actividade pode ser modelizada. Ela permite aumentar o stock e diminuir os custos (se os custos de extracção dependerem do nível deste). Por hipótese, considera-se a

existência de um comportamento determinístico nesta actividade, existindo uma função que relaciona os custos e as descobertas.

Na caracterização das descobertas salientam-se duas situações:

(1) AUSÊNCIA DE INCERTEZA (PINDYCK, 1978b): considere-se uma situação de concorrência perfeita, onde as empresas tomem o preço do recurso (p) como dado, escolhendo o nível de extracção, R , com base num stock conhecido, S .

O custo médio de extracção, $C_1(S)$, cresce com a taxa de extracção, ou seja, aumenta com a diminuição do stock inicial, tendendo para infinito à medida que o stock se aproxima da exaustão.

Os acréscimos deste último ocorrem como resposta ao nível do esforço de prospecção W . A taxa do fluxo de adições ao stock, \dot{X} , depende de W e dos acréscimos acumulados, X , ou seja, $\dot{X} = f(W, X)$ com $f_W > 0$ e $f_X < 0$, ou seja, embora a prospecção e descobertas continuem a ocorrer ao longo do tempo, torna-se cada vez mais difícil alcançar novas descobertas.

O custo da actividade de prospecção é representado por $C_2(W)$, positivamente relacionada com o esforço de prospecção. Assume-se que $C_2''(W) > 0$ e que $C_2(W)/f_W$ (custo marginal de prospecção) aumenta com W .

O problema enfrentado pela empresa é o de maximizar o valor actual dos lucros obtidos com a extracção, onde as receitas são líquidas dos custos de extracção e de prospecção. Simbolicamente,

$$\text{Max}_{R,W} = \int_0^{\infty} e^{-rt} [pR - C_1(S) - C_2(W)] dt \quad (2.25.)$$

$$\text{s.a.} \quad \dot{S} = \dot{X} - R \quad (2.26.)$$

$$\dot{X} = f(W, X) \quad (2.27.)$$

$$S \geq 0, R \geq 0, W \geq 0, X \geq 0 \quad (2.28.)$$

A variação do stock, \dot{S} , corresponde à diferença entre os novos stocks encontrados e as quantidades extraídas do recurso. Sem prospecção, o stock é

monotonamente decrescente. Com prospecção, pode aumentar, caso as novas descobertas sejam superiores às quantidades extraídas (FISHER, 1981: 58).

A partir do Hamiltoniano

$$H = e^{-rt} [Rp - C_1(S)R - C_2(W)] + \lambda_1 [f(W, X) - R] + \lambda_2 f(W, X) \quad (2.29)$$

e diferenciando H em ordem a S e a X , obtêm-se as equações dinâmicas de λ_1 e

λ_2 :

$$\dot{\lambda}_1 = C'_1(S) R e^{-rt} \quad (2.30.)$$

$$\dot{\lambda}_2 = -(\lambda_1 + \lambda_2) f_X \quad (2.31.)$$

A partir do Hamiltoniano definido na equação (2.29.), o produtor opta entre não extrair ou extrair até ao nível máximo de capacidade, de acordo com o sinal de $e^{-rt} [p - C_1(S)] - \lambda_1$. Para que os preços sejam iguais aos custos de extracção, é necessário que,

$$e^{-rt} [p - C_1(S)] - \lambda_1 = 0 \quad (2.32.)$$

Nesta expressão, λ_1 é sempre positivo, representando a alteração no valor presente dos lucros, resultante do acréscimo unitário do stock. No entanto, λ_1 pode ser negativo [por hipótese, $C'_1(S) < 0$]. Deste modo, a extracção pode cessar algures no tempo, mesmo quando o crescimento do stock é ainda possível.

Derivando (2.32.) em ordem ao tempo, substituindo (2.26.) por $S(.)$ e igualando o resultado a 2.30., é possível definir a trajectória dos preços:

$$\dot{p} = rp - rC_1(S) + C'_1(S) f(W, X) \quad (2.33.)$$

Com a introdução da actividade de prospecção, os preços crescem mais lentamente, comparando com o *Princípio de HOTELLING*. Mesmo que o custo marginal de extracção seja independente do nível do stock, o preço inicial será mais baixo, facto resultante do stock esperado ser superior ao stock inicial do recurso (vd. fig. 2.8.).

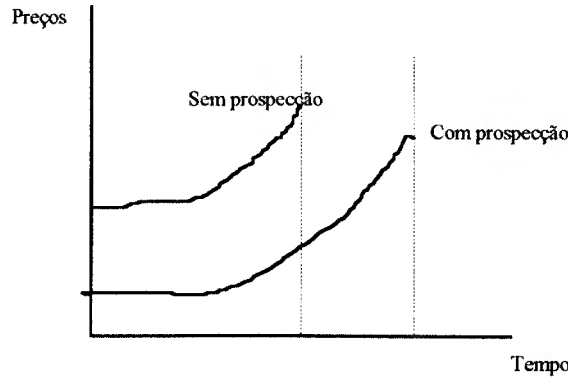


Fig. 2.8. - Trajectórias dos preços para custos de extracção constantes (PINDYCK, 1978: 846).

A trajectória óptima da prospecção pode ser obtida derivando a equação (2.29.) em ordem a W e substituindo λ_1 por $e^{-rt}[p - C_1(S)]$ [equação (2.32.)]. Obtemos o seguinte resultado para λ :

$$\lambda_2 = \frac{C'_2(W)}{f_w} e^{-rt} - p e^{-rt} + C_1(S) e^{-rt} \quad (2.34.)$$

Utilizando a equação (2.34.) e (2.32.), pode-se reescrever (2.31.):

$$\dot{\lambda}_2 = -\frac{f_x}{f_w} C'_2(W) e^{-rt} \quad (2.35.)$$

Derivando (2.34.) em ordem ao tempo e substituindo (2.26.), (2.27.) e (2.33.) por \dot{S} , \dot{X} e \dot{p} , obtem-se:

$$\dot{\lambda}_2 = C'_2(W) \frac{f_{wx} \cdot f}{(f_w)^2} e^{-rt} + \frac{f_w C''_2(W) - C'_2(W) f_{ww}}{(f_w)^2} \dot{W} e^{-rt} - r \frac{C'_2(W)}{f_w} e^{-rt} - C'_1(S) R e^{-rt} \quad (2.36.)$$

Finalmente, igualando as duas últimas equações, a trajectória de prospecção é determinada pela equação:

$$\dot{W} = \frac{C'_2(W) [(f_{wx} / f_w) \cdot f - f_x + r] + C'_1(S) R f_w}{C''_2(W) - C'_2(W) \frac{f_{ww}}{f_w}} \quad (2.37.)$$

As condições limite para as equações (2.36.) e (2.37.) dependem do valor de $C'_2(0)/f_w(0)$:

- Se $C'_2(0)/f_w(0)=0$, (o custo marginal de prospecção no momento inicial é nulo): então no momento T (quando a extracção cessar), continuar com a actividade de prospecção não vale a pena. O segundo limite é obtido a partir da condição de transversalidade para λ_2 (no momento T o custo de descobrir mais uma unidade do recurso deve ser igual a zero). Daí que a partir da equação (2.34.) se obtenha $p_T=C_T(S_T)$, em que o preço do recurso no momento T aumenta até ao ponto onde o lucro obtido com a venda da última unidade do recurso seja nulo;

- Se $C'_2(0)/f_w(0) = \phi > 0$: neste caso, o esforço de prospecção deve terminar antes da extracção do recurso, num momento $T_1 < T$. Verifica-se que $W=0$, isto é, a prospecção termina a partir do momento em que:

$$(1) p - C_1(S) \rightarrow \phi$$

$$(2) C'_1(S)R/r \rightarrow \phi.$$

Concluindo, a última unidade de recurso deve ser descoberta quando o custo marginal da prospecção for igual ao rendimento líquido que pode ser obtido pela extracção e venda dessa unidade [condição estabelecida em (1)] e igual ao valor actualizado de não extrair essa unidade [condição estabelecida em (2)].

A forma particular da trajectória dos preços, da prospecção e da extracção, depende do valor inicial dos stocks. Se o stock inicial for pequeno e o custo de extracção for elevado, a empresa terá de comparar os ganhos de adiar a prospecção, com a perda em termos de redução de custos de extracção. Neste caso, existe vantagem em não adiar a prospecção, de forma a aumentar o stock inicial. Inicialmente a extracção aumenta (e o preço diminui). No futuro, o stock e a extracção diminuirão, acompanhando a diminuição do esforço de prospecção. Se o stock inicial for elevado, $C_1(S)$ é menor, tornando-se então vantajoso adiar a prospecção.

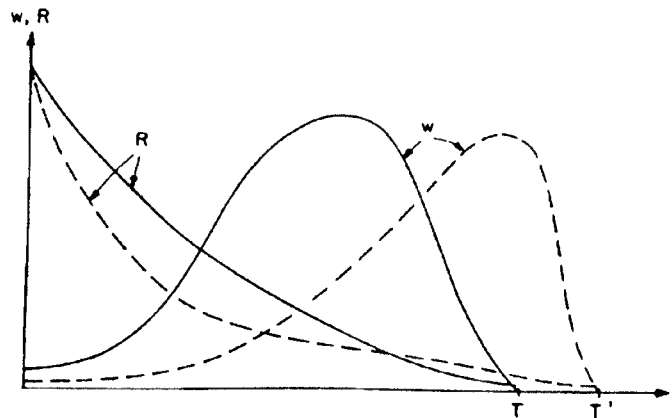
Em resumo:

1.º Caso: preços crescem lentamente

Se os stocks iniciais são elevados, $C_1(S)$ e $C'_1(S)$ serão menores. O crescimento dos preços será ligeiramente inferior à taxa de actualização r . O crescimento do esforço de prospecção, W , será inicialmente positivo. Esta actividade começa a um nível muito baixo (uma vez que a base do recurso é elevada, o custo da prospecção pode ser adiado). Em consequência, o stock diminuirá lentamente e o esforço de prospecção crescerá. Algures no tempo,

quando os stocks se tornarem muito reduzidas, \dot{W} será negativo, à medida que o custo marginal de extracção se vai tornando cada vez maior. O preço aumentará até ao ponto em que a procura desse recurso se esgota e o lucro se anula. Neste ponto, embora o stock não esteja totalmente esgotado, deixa de ser rentável continuar a actividade de prospecção (vd. linha não pontuada da fig. 2.9.)

Se os custos de extracção forem bastante pequenos, comparativamente ao preço e ao custos de prospecção, manter uma reserva muito grande não tem qualquer tipo de valor e a actividade de prospecção deve ser adiada para o final (vd. linha pontuada na fig. 2.9.).



NOTA: Entenda-se R como o stock do recurso.

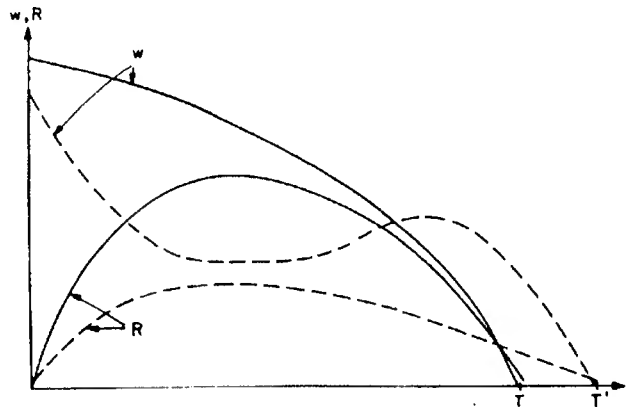
Fig 2.9.- Actividade de prospecção e reservas provadas - reservas iniciais elevadas (PINDYCK, 1978: 850).

2.º Caso: Trajectória do preço em forma de U

Se os stocks iniciais são muito pequenos, o preço cairá de um nível mais elevado, já que $C_1(S)$ e $C'_1(S)$ são elevados. A prospecção também começará a diminuir a partir de um nível mais elevado. Os stocks aumentarão inicialmente como resposta ao esforço de prospecção, mas ao longo do tempo diminuirão, resultado da diminuição da produtividade marginal da actividade de prospecção. Quando isto acontece, os preços começam a aumentar até ao nível em que a procura se anula (v.d. linhas não pontuadas fig. 2.10.).

Se os custos de extracção são pequenos, a prospecção pode diminuir mais rapidamente. Com o aumento da extracção, \dot{W} , pode ser positivo, garantindo que o nível dos stocks não decresça tão rapidamente na situação de esgotamento. Finalmente, com a diminuição da produtividade da actividade de prospecção, $C'_1(S)$ passa a dominar o numerador de (2.37.) e \dot{W} será reduzido até atingir o valor zero.

Os preços terão, igualmente, uma trajectória em U (v.d. linhas ponteadas Fig. 2.10.).



NOTA: Entenda-se R como o stock do recurso.

Figura 2.10. - Actividade de prospecção e reservas provadas - reservas iniciais reduzidas (Pindyck, 1978: 851).

DASGUPTA e HEAL (1979: 181) estudaram também as consequências da actividade de prospecção quando a data de descoberta de um novo depósito, T^* , é uma variável endógena.

(2) DESCOBERTAS E INCERTEZA

PINDYCK (1980) desenvolveu posteriormente um modelo onde a incerteza está presente na actividade de prospecção. Segundo este autor, a incerteza quanto à dimensão dos stocks disponíveis resulta do ajustamento positivo ou negativo dos mesmos, de acordo com um processo estocástico. Quando a prospecção tem lugar, as empresas podem encontrar mais ou menos stocks disponíveis para extrair, comparativamente ao que esperavam inicialmente.

A prospecção é encarada segundo duas perspectivas:

- É útil para a obtenção de informação sobre o stock;
- Permite o aumento do stock disponível para extracção.

No primeiro caso, as flutuações no stock são decrescentes, passo a passo com o aumento do mesmo. No segundo caso, o esforço de prospecção é entendido como sendo um factor de produção de novas descobertas, permanecendo incerta a resposta destas últimas em relação ao esforço de prospecção.

A principal diferença na abordagem feita por este autor reside no facto de considerar o nível inicial do stock como um dado conhecido. Segundo ele, grande

parte da incerteza resulta do desconhecimento da evolução futura dos stocks, considerando ainda que o nível destes se altera de forma aleatória e contínua ao longo do tempo. Esta última hipótese permite que a taxa de extracção seja continuamente ajustada às alterações verificadas.

(2.a) Prospeccção para diminuir a incerteza: Neste caso, a prospecção é introduzida para diminuir a incerteza relacionada com as flutuações estocásticas do stock. O problema da empresa mantém-se [ver formalização do problema em (2.25.)], alterando-se apenas as restrições. A variável K pode ser definida como sendo a reserva de conhecimento produzida pela actividade de prospecção.

$$\text{Max}_{W,R} E_0 \int_0^T e^{-rt} [pR - C_1(S) - C_2(W)] dt \quad (2.38.)$$

$$\text{s.a. } dS = -Rdt + \sigma(K)dz \quad (2.39.)$$

$$dK = g(W)dt, \quad (2.40.)$$

$$R, W, S, K \geq 0. \quad (2.41.)$$

O valor de K é tal que induz a uma variação nas flutuações estocásticas de S (stock), ou seja, $\sigma'(K) < 0$.

Por hipótese, $C'_2(W)/g'(W)$ aumenta com W e $C'_2(0)/g'(0)=0$. O objectivo é determinar em que condição o valor de K é crescente (para demonstração v.d. PINDYCK, 1980: 1213).

O valor de K surge apenas quando $C'_1 < 0$, pois só assim as flutuações do stock ao longo do horizonte temporal considerado, aumentam os custos de extracção. Uma redução em $\sigma(K)$ através do desenvolvimento da actividade de prospecção, causa uma redução nesses custos ao permitir que se faça uma melhor afectação da extracção ao longo do tempo, ou seja, que se extraia mais nos períodos em que S é maior.

(2.b) Actividade de prospecção para acumular reservas: Neste caso existe incerteza quanto ao sucesso da actividade, isto é, quanto ao seu resultado em termos de novas descobertas.

Considera-se conhecida no momento actual a relação entre prospecção/descobertas, mas tornando-se objecto de incerteza crescente no futuro. O modelo anterior é alterado, introduzindo-se na função do esforço de prospecção um parâmetro que segue um processo estocástico.

Temos então $\dot{X} = f(W, X, \theta)$ onde $f_W > 0$ e $f_X < 0$. A dinâmica de θ pode ser especificada do seguinte modo:

$$d\theta = \sigma(\theta)dz = \sigma(\theta)\varepsilon(t)\sqrt{dt} \text{ com } E(d\theta)=0 \quad (2.41.)$$

A formalização é semelhante à anteriormente referida (PINDYCK, 1978), apenas se acrescentando as restrições referentes a θ (v.d. formalização em PINDYCK, 1980:1215).

Comparando os resultados quanto à trajectória dos preços e da prospecção em (1) e (2), verifica-se que a incerteza não afecta a evolução esperada dos preços, mas afecta a taxa de variação do esforço de prospecção.

Tudo depende da não linearidade de f em relação a θ . Se $f_{W\theta\theta} > 0$ e $f_{WW} < 0$ e com S (stock) inicial muito pequeno, a incerteza fará com que $(1/dt)E_t dW$ seja maior e, conseqüentemente, o nível inicial de W será menor, mas cairá menos rapidamente, não se alterando, no entanto, a acumulação de descobertas. Qualquer aumento em θ aumenta, em média, a produtividade marginal do esforço de prospecção, mais do que proporcionalmente, quando se compara os efeitos da diminuição desse parâmetro. Neste caso, este esforço pode ser reduzido no *trade-off* entre ganhos de adiar a prospecção e as perdas resultantes de custos mais elevados da extracção de uma base do recurso inferior.

Se S inicial é grande, w será inicialmente inferior e $\dot{W} > 0$ primeiramente, mas negativo mais tarde. Com $f_{W\theta\theta} > 0$ flutuações em θ terão o mesmo resultado.

Em resumo:

- A actividade de prospecção deve ser utilizada para diminuir a variação nas flutuações estocásticas do stock apenas se $C'_1(S) < 0$. Neste caso, o conhecimento *ex-ante* do período terminal, T , e a distribuição de S ao longo do tempo, permitem que os custos de extracção sejam reduzidos em média, ao deslocar momentos de maior intensidade de extracção para períodos em que S é maior;
- O perfil da actividade de prospecção é alterado com a introdução de θ , que afecta a produtividade da prospecção e logo o nível desta actividade.

Cabe aqui uma nota no tocante à relação entre a renda e as medidas de escassez do recurso, considerando-se a introdução da prospecção. O preço do recurso não extraído surge como a medida mais adequada para a sua escassez, segundo alguns autores (PINDYCK, 1978b: 854-855; DEVARAJAN e FISHER ,

1982: 1289). Mais não é do que o preço-sombra de uma unidade de recurso não extraído, medindo a diminuição do valor presente do stock quando essa unidade é extraída. O problema que se coloca à sua utilização resulta da não-observabilidade desta medida.

A prospecção influencia o comportamento da trajectória dos preços. O seu custo é observável e sabe-se que esta actividade continuará até ao ponto onde o custo de descobrir uma unidade adicional do recurso seja igual ao benefício de o fazer, podendo ser utilizado, quando correctamente definido, como medida da escassez do recurso (YÜCEL, 1989). O aumento do custo marginal de novas descobertas significa, como já vimos, uma maior escassez nos stocks.

2.4.2.2. "Backstop technology"

HOTELLING quando considerou a possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, não discutiu o conceito de *backstop technology*. Introduzido pela primeira vez por NORDHAUS (1973), que o aplicou ao caso da energia, ganhou popularidade nos recursos naturais com SOLOW (1974a). No entanto, a ideia também já tinha sido relacionado com os recursos naturais não renováveis em HERFINDAHL (1967), ao considerar-se a existência de stocks com diferentes qualidades, explorados em momentos diferentes (*cit.* FISHELSON, 1993: 387).

Mas o que se entende por *backstop technology*? Os autores são relativamente consensuais. Segundo FISHER (1981: 18), pode-se entendê-la como sendo um produto (recurso ou tecnologia), que presta quase o mesmo serviço de um produto já existente, mas a um custo mais elevado e sem risco de exaustão, pelo menos a médio prazo.

Suponha-se que para além do stock conhecido de um recurso não renovável (com custo de extracção unitário igual a b_1), existe uma tecnologia conhecida para produzir um substituto cujo custo é b_2 . Como estamos em presença de mercados competitivos, o preço do recurso é b_2 .

Sendo p_t o preço do recurso não extraído e q_t o preço do recurso extraído e dado que $b_1 < b_2$, o stock será explorado num período inicial $(0, T)$, enquanto o substituto não for rentável. A equação $\frac{\dot{p}}{p} = r$ será mantida durante este intervalo de tempo.

O preço do recurso extraído é representado pela equação,

$$q_t = b_1 + p_0^* \exp(rt) < b_2 \text{ para } 0 \leq t < T \quad (2.42.)$$

e p_0^* e T , serão determinadas pelas condições

$$\int_0^T D\{b_1 + p_0^* \exp(rt)\} dt = S_0^{(1)} \quad (2.43.)$$

onde $S_0^{(1)}$ corresponde ao stock inicial do primeiro recurso, com um custo b_1 .

$$\lim_{t \rightarrow T} \{b_1 + p_0^* \exp(rt)\} = b_2 \quad (2.44.)$$

O custo de extracção é inferior ao custo unitário de extracção do substituto, logo, este não deverá ser produzido inicialmente em situação de eficiência. Deverá ser mantido em reserva até ao momento em que o outro recurso seja totalmente esgotado. Efectivamente, o preço do recurso não permite que o substituto seja extraído na medida em que o custo de o fazer não seria coberto pelo preço de mercado ($b_1 < b_2$). Quanto maior for o stock inicial, maior será o período de espera quanto ao aparecimento do substituto.

Este resultado permite estabelecer os limites de variação para o preço do recurso actualmente extraído: $b_1 \leq q_t \leq b_2$.

Admitindo que a procura é iso-elástica e a elasticidade em relação ao preço é unitária, durante o período $(0, T)$ tem-se $b_1 < b_1 + p_0^* \exp(rt) < b_2$ e $R_t = \{b_1 + p_0^* \exp(rt)\}^{-1}$.

A partir das equações (2.43.) e (2.44.), obtem-se:

$$S_0^{(1)} = \int_0^T \frac{dt}{\{b_1 + p_0^* \exp(rt)\}} = \frac{1}{b_1 r} \left[\log \left(\frac{b_1 + p_0^*}{p_0^*} \right) \right] - \log \left(\frac{b_1 + p_0^* \exp(rT)}{p_0^* \exp(rT)} \right) \quad (2.45.)$$

$$b_2 = b_1 + p_0^* \exp(rT) \quad (2.26.)$$

Graficamente:

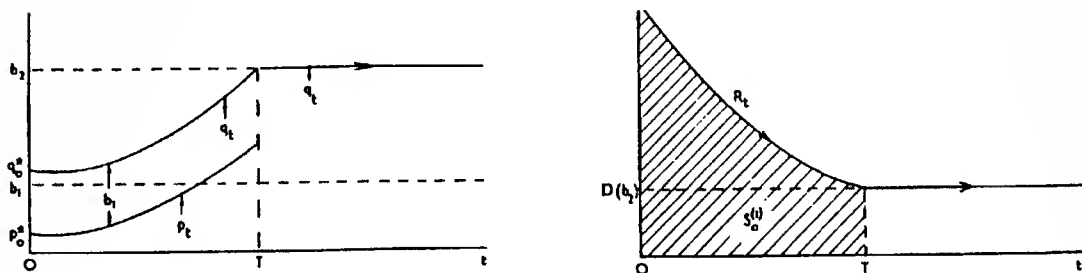


Fig. 2.11.- Trajectória do preço de mercado e da extracção do recurso e do seu substituto (DASGUPTA e HEAL, 1979: 177).

Em resumo, se o stock inicial do recurso for grande, muito dificilmente o preço do recurso extraído será igual a b_2 . Qualquer tentativa de o fazer resultará numa sobreconservação do recurso.

(1) Custos variáveis da "backstop technology": Supondo que b_2 é contínua e monotonamente decrescente em relação ao tempo e que $b_2 \rightarrow \bar{b}_2 > b_1$ (vd. fig. 2.12.)

O recurso será explorado no período $(0, T)$. O preço inicial e a data do esgotamento serão obtidos a partir das seguintes condições:

(a) garantia de que em T o stock do recurso estará totalmente esgotado;

(b) $q_T = b_1 + p_0 \cdot \exp(rT) = b_2(T)$.

A partir do momento T , o substituto será extraído e $q_t = b_2(t)$.

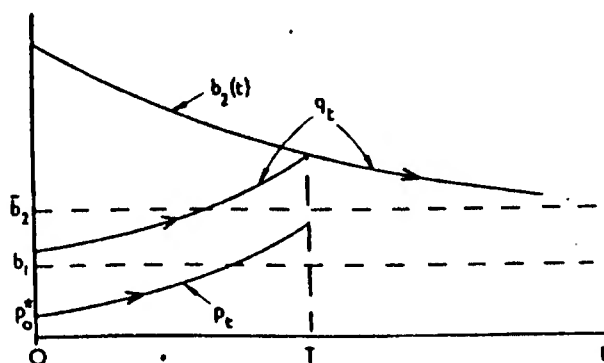


Fig. 2.12. - Trajectória do preço quando $b_2 \rightarrow \bar{b}_2 > b_1$ (DASGUPTA e HEAL, 1979: 179).

Contudo, a data do aparecimento de avanços técnicos nem sempre é conhecida no momento actual, postulando-se uma certa incerteza quanto à data de

inovações técnicas ou novas descobertas. Não considerando esta incerteza, suponha-se que esta data é T^* . A empresa apenas interessa saber se a "backstop technology" surge antes ou depois do esgotamento do recurso:

- Se $T^* \leq T$, a análise anterior mantém-se.

- Se $T^* > T$, a sociedade poderá ter o substituto disponível mais cedo. Como não se pode alterar T^* , altera-se a trajectória do preço e a trajectória de extracção. Neste caso o preço inicial será mais elevado para que entre T^* e T possa existir ainda alguma quantidade de recurso disponível. Então em T^* o preço será: $q_{T^*} = b_1 + p_0^{**} \exp(rt) > b_2$. Existe uma queda descontínua no preço a partir do momento em que se começa a extrair o substituto (vd. fig. 2.13.). O preço inicial será tanto mais elevado quanto maior for o distanciamento entre as duas datas referidas. No limite, $T^* \rightarrow \infty$ e o *Princípio de HOTELLING* verifica-se, caso os custos médios sejam constantes.

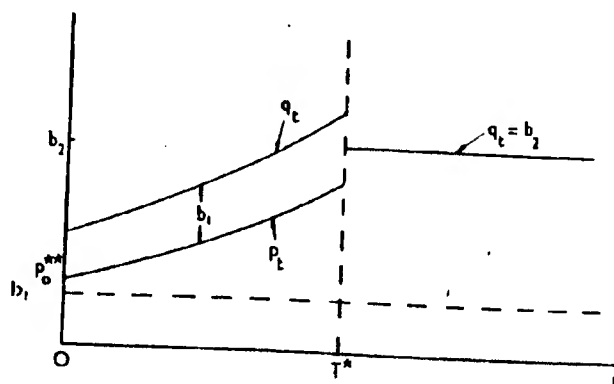


Fig. 2.13. - Trajectória do preço de acordo com o momento da descoberta do substituto (DASGUPTA e HEAL, 1979: 181).

Este é o resultado em concorrência perfeita. O estudo de outras situações de mercado foi feito por FISHELSON (1993), que considerou as combinações de concorrência-monopólio, situação de monopólio-mesmo monopólio, monopólio-concorrência e monopólio-monopólio.

Quando o recurso conhece as regras de concorrência perfeita mas a *backstop technology* está na posse de um monopólio, a partir do momento em que seja atingido o limite superior do preço do recurso (b_2), o monopolista pode agir estrategicamente e entrar no mercado apenas quando o preço for ligeiramente superior a b_2 . Nestas circunstâncias, o preço aumenta até se estabelecer a igualdade básica da situação de monopólio, i.e., os custos marginais iguais às receitas marginais, do que resulta um preço ligeiramente superior ao preço em situação de concorrência perfeita (vd. fig. 2.14.).

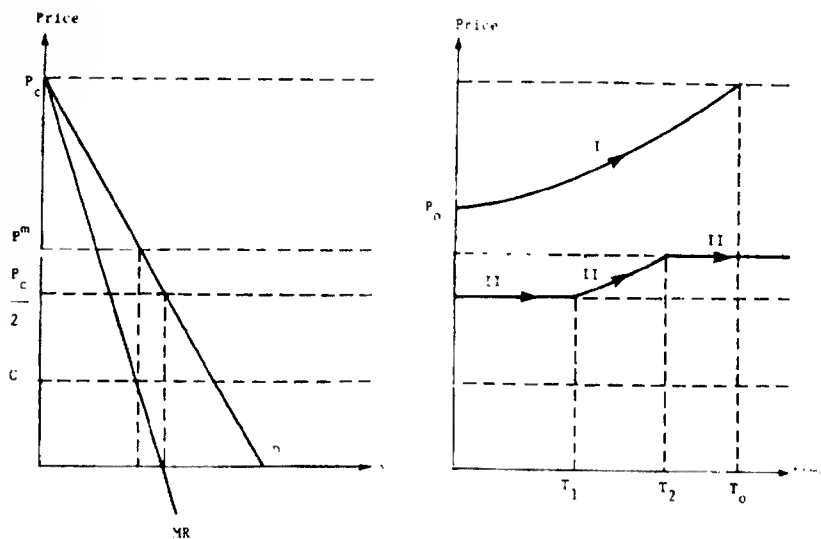


Fig. 2.14. - Preço do recurso e do substituto no caso concorrência-monopólio (FISHELSON, 1993: 391).

Numa situação em que o mesmo monopólio detenha o stock e a *backstop technology*, o monopolista pode escolher entre dois caminhos: não altera o preço inicial e quando atingir o nível de preços em que $Rmg=Cmg$, em T_1 , vende o que lhe resta do recurso e em T_2 introduz o substituto ; ou altera o preço inicial para que o recurso esteja esgotado em T_1 (vd. fig. 2.15.)

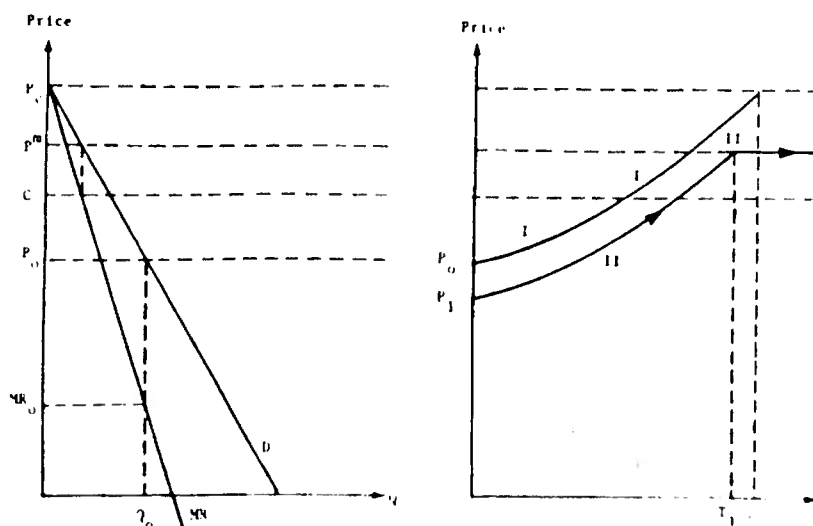


Fig. 2.15. - Trajectória do preço no caso monopólio-mesmo monopólio (FISHELSON, 1993: 392).

Quando existem dois monopólios, o monopolista que explora o recurso vai tentar manter o preço abaixo de b_2 o maior tempo possível para evitar a entrada do outro monopólio. Este último comporta-se de forma míope, pois não começa a extrair enquanto o preço de mercado for inferior a b_2 . Quando o preço atinge este limite, salta para o nível em que $Cmg=Rmg$, acima de b_2 (vd. fig. 2.16.)

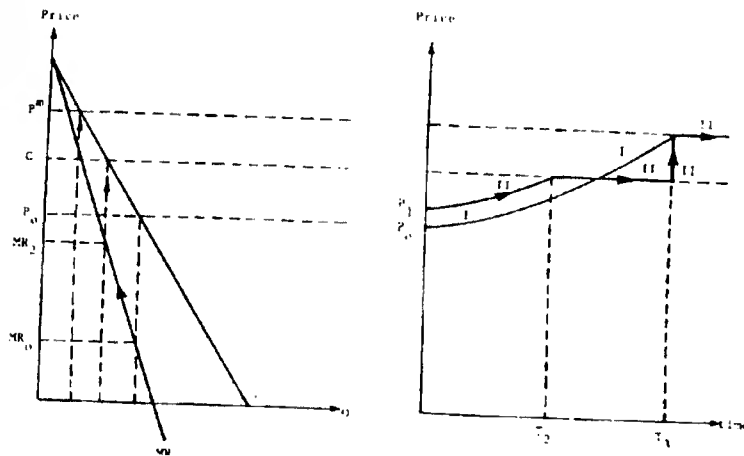


Fig. 2.16. - Trajectória do preço no caso monopólio-outro monopólio (FISHELSON, 1993: 393).

Na situação em que o recurso está a ser explorado por um monopolista e a "backstop technology" está na posse de uma indústria competitiva, o comportamento do preço é semelhante à situação anterior mas, neste caso, quando o recurso estiver esgotado, o preço permanece no nível b_2 .

2.5. EXTERNALIDADES

2.5.1. Definição

A abordagem clássica das externalidades foi efectuada por PIGOU (1920). Em economia, diz-se que existem externalidades, quando a produção de uma empresa (consumo de um indivíduo) afecta a produção (ou o nível de vida) de outra empresa (ou indivíduo), na ausência de transacções de mercado entre eles. A teoria das externalidades pode também ser expressa em termos dos custos suportados pela empresa, resultantes do seu processo produtivo - custos privados -, e aqueles que são suportados pela sociedade como um todo - custos sociais. Como a utilização de certos bens é possível, sem se suportar internamente todos os custos (caso do ar limpo, da água pura), os custos privados de utilização destes bens é inferior ao custo social (HJALTE, 1977: 7).

As externalidades podem ser positivas, caso sejam um benefício, ou negativas, caso correspondam a um custo gerado por um agente que resulte na diminuição do bem-estar de terceiros, sem que sejam compensados por aquele.

A eliminação de uma externalidade negativa é difícil. Na medida em que não se pretende que os ganhos ou perdas pesem apenas sobre uma das partes, o objectivo da sociedade é o de maximizar a soma dos benefícios menos a soma dos

custos. Graficamente (vd. fig. 2.17.) esta área corresponde ao triângulo OXY, ao que corresponde o nível de actividade Q^* .

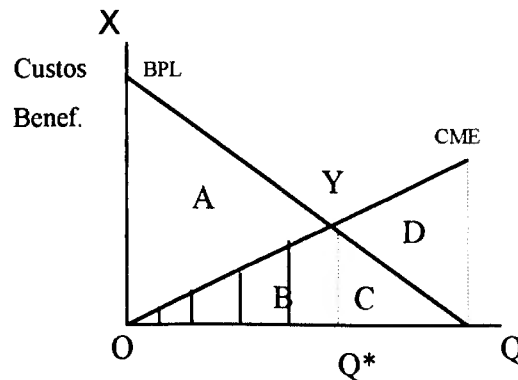


Fig. 2.17. - Nível óptimo de poluição (PEARCE e TURNER, 1990: 63)

Representando o benefício líquido privado (**BLP**) como a diferença entre preço e custo marginal, o custo marginal externo (**CME**) como o valor de uma unidade extra de "poluição" resultante da alteração da actividade em uma unidade, o *ótimo de PARETO* é obtido quando o preço é igual ao custo marginal social, ou seja, igual à soma do custo marginal privado com o **CME** (PEARCE e TURNER, 1990: 64).

O objectivo da entidade reguladora será o de garantir que as empresas poluidoras actuem no nível Q^* . Uma das intervenções mais defendidas pelos economistas envolve o estabelecimento de um imposto, baseado na estimação dos danos causados, ou seja, dos custos externos. Tal taxa é designada por taxa pigouviana e incide sobre cada unidade produzida e é representada por t^* , tendo o efeito de ajustar para baixo a curva do **BLP** numa grandeza igual a t^* . Esta taxa garante o nível de actividade Q^* e não é mais do que o **CME** (vd. fig. 2.18.).

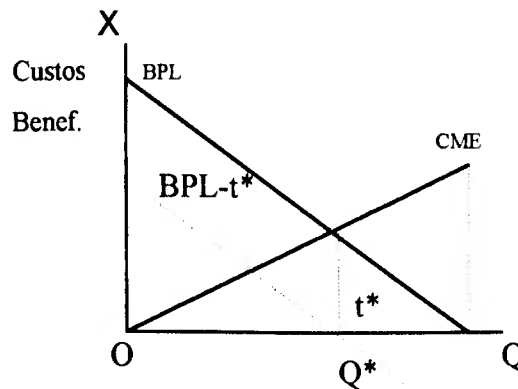


Fig. 2.18. Taxa óptima (PEARCE e TURNER, 1990: 86).

A função dos danos revela-se fundamental para determinar o modo como a poluição varia com o nível de actividade e qual o valor monetário da primeira (PEARCE e TURNER, 1990: 141).

O valor que o imposto deve tomar corresponde à seguinte equação:
 $t^* = \frac{\partial CE}{\partial Q^*}$ onde Q^* representa o nível óptimo de actividade e CE representa o custo externo (PEARCE e TURNER, 1990: 86).

2.5.2. Modelo de exploração óptima com externalidades

No seu artigo de 1931, HOTELLING afirmava que excepto nos casos de propriedade comum dos recursos, a extracção competitiva era sempre óptima em termos sociais. Desta forma, a teoria tradicional ignorava a questão das externalidades.

Contudo, para além dos problemas que a propriedade comum dos recursos apresenta, existem outros que se colocam na exploração dos recursos, relacionados com perturbações ambientais, muitas vezes com carácter irreversível. O desenvolvimento da teoria económica das externalidades criou instrumentos de intervenção nesta área, com o objectivo de preservar o stock dos recursos não renováveis e o ambiente. O modelo desenvolvido por SCHULZE (1974) procura integrar na actividade extractiva, as complexas interacções ambientais que resultam da mesma.

No modelo, assume-se que os danos causados ao ambiente estão relacionados com o stock removido através da extracção. Designando por R a quantidade extraída do recurso e por D os danos causados ao ambiente, vem que,

$$D[R(t)] \text{ com } D, D' \geq 0 \quad (2.47.)$$

e esta função aumenta com o aumento acumulado do recurso extraído R .

Para determinar a trajectória óptima de extracção é necessário maximizar o valor líquido actualizado dos benefícios

$$\int_0^T e^{-\rho t} [pR - C(S - D(R))] dt \quad (2.48.)$$

sujeito à restrição (2.47.).

Neste caso, podemos definir $D(R)$ como uma taxa pigouviana igual ao valor futuro dos danos marginais em qualquer ponto do tempo, definida da seguinte forma:

$$T(t) = \int_0^T e^{-rt} D'(R) ds \quad (2.49.).$$

PARTE II

INDÚSTRIA EXTRACTIVA DOS MÁRMORES NO ALENTEJO: ESTUDO DE CASO

3. A INDÚSTRIA EXTRACTIVA DOS MÁRMORES DA REGIÃO DE ESTREMOZ-BORBA-VILA VIÇOSA

3.1. GENERALIDADES

Etimologicamente, a palavra "mármore", que deriva do vocábulo latino "marmor", significa "rocha de qualidade", independentemente do seu tipo (COSTA, 1992: 23). No entanto, o termo é muitas vezes utilizado para designar genericamente toda a rocha, carbonatada ou não, que pode ser utilizada com fins ornamentais ou, simplesmente, utilizada na construção, quando alvo de polimento.

Actualmente, a designação é reservada às rochas metamórficas essencialmente constituídas por calcite e/ou dolomite, com textura granoblástica, frequentemente sacaróide. Este tipo de rochas corresponde aos calcários cristalinos, rochas carbonatadas que sofreram um processo de metamorfismo, perdendo as suas características originais e cujos carbonatos recristalizaram completamente (MOURA, 1992: 18).

Em termos geológicos, é na "Zona de Ossa-Morena" (que abrange as zonas de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, Escoural, Viana do Alentejo, Trigaxes, etc.) que se encontra o núcleo mais valioso das rochas ornamentais portuguesas (SEQUEIRA E ANDRADE, 1992: 15).

Efectivamente, nos 26091 km² da Região Alentejo, afloram rochas graníticas numa extensão de 3118 km² (12% do total da área referida), rochas dioríticas e gabros, que ocorrem numa área de 771 km² (cerca de 3%) e rochas carbonatadas, que afloram em 456 km² do território (2% do total) (GONÇALVES e LOPES, 1992: 7).

A extracção das rochas ornamentais no Alentejo remonta ao tempo da ocupação da Península Ibérica pelos romanos. Desde essa época que os mármorees têm sido apreciados e utilizados nas decorações de muitos monumentos e edifícios. É o caso dos capitéis e pilares do Templo de Diana, em Évora, executados com mármorees de Vila Viçosa.

Durante a Idade Média, o interesse por esta pedra não diminuiu, existindo múltiplos vestígios ostentadores das numerosas variedades de mármore das respectivas zonas, tanto no Alentejo (a catedral de Évora, as igrejas de Estremoz, Borba e Vila Viçosa), como fora dele (Mosteiro dos Jerónimos e de S.Domingos, em Lisboa).

Em 1851, na Exposição Universal de Londres, foram apresentados ao estrangeiro, pela primeira vez, alguns dos exemplares dos mármore portugueses. À sua apreciação, aliás bastante lisonjeira, não correspondeu um sucesso comercial, não por falta da qualidade do material exposto, mas antes pelo fraco desenvolvimento da indústria marmorífera em Portugal. Em 1855, na exposição de Paris, o bom acolhimento das rochas portuguesas repetiu-se, mas também o problema anterior se manteve (A PEDRA n.º45, 1992: 67-68).

Contudo, estes sucessos tiveram algumas repercussões na indústria em questão. Entre 1851 e 1855 edificou-se o primeiro estabelecimento de transformação de mármore que utilizava já a máquina a vapor. A partir de então os progressos sucederam-se, com a indústria transformadora a desenvolver-se acentuadamente na região de Lisboa.

Os avanços na indústria transformadora foram acompanhados por progressos na extracção da pedra que, em 1930, culminaram com a introdução do fio helicoidal. Esta invenção permitia abordar a pedra com cortes contínuos, diminuindo os desperdícios da mesma. Actualmente, nas pedreiras mais modernas, o fio diamantado é o mais utilizado no trabalho de desmonte, com manifestos ganhos de produtividade e rendimento, resultando do processo blocos de maiores dimensões e menos fracturados.

Na Região Alentejo, encontram-se as mais importantes jazidas portuguesas de mármore, localizadas no anticlinório de Estremoz. Esta estrutura estende-se numa mancha alargada com direcção NW-SW, numa área de 40 km de comprimento e chega a apresentar 7 km de largura (MOURA, 1992: 19).

Nela ocorrem as seguintes rochas carbonatadas (MARTINS, 1991b: 319):

- 1- Calcários cristalinos dolomíticos branco-acinzentados e branco-acastanhados, de grão fino, muito fracturados.
- 2 - Mármore calcíticos de grão médio e fino, cujos tipos comerciais predominantes são o branco e rosa, mais ou menos venados de calcoxisto.
- 3 - Calcários lacustres, por vezes brechóides, que assentam em discordância sobre terrenos antigos.

Por zonas:

- No triângulo Estremoz-Borba-Vila Viçosa predominam as variedades de cores claras e róseas: branco estatuarió (raro), branco corrente, branco-anilado, corado, creme, rosa aurora e rosa salmão, mais ou menos venados e manchados de tons acizentados, cinzento-acastanhados, acastanhados e avermelhados;
- Em Viana do Alentejo-Alvito, entre as variedades com interesse comercial, encontram-se o verde-claro com manchas anegradas e o verde-claro com laivos verdes escuros, este último muito procurado. Ocorrem também, mas com menor incidência, o branco e o rosa-salmão com pigmentação esverdeada;
- Na zona de Santiago do Escoural (Montemor-o-Novo), as rochas de maior procura são as de variedade branca com laivos acizentados e sobretudo as de cor branca-esverdeada com laivos rectilíneos paralelos verde-escuros e acastanhados;
- Por seu turno na zona de Trigaxes (Beja) há que referir os mármorees branco-acizentados, mais ou menos venado, e o cinzento-escuro quase negro;
- Finalmente, na zona de Ficalho-Serpa ocorrem mármorees brancos, cinzento-esverdeados, com laivos avermelhados, e verde, com intercalações de calcoxistos esverdeados.

A importância dos mármorees e outros calcários ornamentais no contexto extractivo nacional fica bem patente quando se considera o seu peso nas exportações de substâncias minerais portuguesas em valor (vd. quadro 3.1) que, em 1992, se situava em 31.4%, ao que corresponde a uma evolução da sua importância relativamente a 1991 (29,8%).

Quadro 3.1.
Exportação de Substâncias Minerais Portuguesas (Valor FOB)

Substância Mineral	1991	%	1992 (*)	%	Varição
Minério de cobre	3244345	45,2	29979901	43,2	8,24
Mármorees e outros calcários ornamentais	2134181	29,8	21735702	31,4	9,18
Pedra natural talhada para calcetamento	6228234	8,7	7507849	10,8	0,21
Granito ornamental e rochas similares	5697836	7,9	5280999	7,6	-0,07
Minério de estanho	1779673	2,5	1739675	2,5	-0,02
Substâncias minerais diversas	704471	1,0	999066	1,4	0,42
Ardósia	939435	1,3	877396	1,3	-0,07
Minérios de volfrâmio	1676209	2,3	869184	1,3	-0,48
Outros minerais metálicos	571895	0,8	339917	0,5	-0,41
Minério de urânio (U_2O_8)	321617	0,4	-	0,0	-1,00
TOTAL	71704666	100	69329689	100	-0,03

Nota: (*) - Resultados provisórios.

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. INE.

O relevo dos mármore no sector extractivo é igualmente corroborado pelo número de pedreiras activas no Continente. Em 1992, registavam-se um total de 443, das quais 362 (81,7%) se encontravam afectas à extracção de mármore e rochas afins (MARTINS, 1992: 248).

3.2. CARACTERIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DA INDÚSTRIA DE MÁRMORE NO TRIÂNGULO ESTREMOZ-BORBA-VILA VIÇOSA

3.2.1. Estabelecimentos

Em 1992, das 256 pedreiras activas ligadas à extracção de mármore e rochas afins registadas nos distritos de Beja e Évora, cerca de 97,6% (249) estavam localizadas neste último (vd. quadro 3.2. e 3.3.).

Quadro 3.2.
Mármore e Rochas Afins: número de pedreiras

	1989	1990	1991	1992	1993
Distrito de Évora (1)	249	250	250	249	236
Distrito de Beja (2)	7	7	7	6	6
Total (1)+(2)	256	257	257	255	242
Total Continente	360	364	365	362	-

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. INE.

Quadro 3.3
Estrutura em percentagem

	1989	1990	1991	1992	1993
	%	%	%	%	%
Distrito de Évora	97,3	97,3	97,3	97,6	97,5
Distrito de Beja	2,7	2,7	2,7	2,4	2,5
Total (1)+(2)	100	100	100	100	100
Total (1)+(2)/Continente	71,1	70,6	70,4	70,4	-

As principais jazidas no panorama português do Sector Extractivo Pétreo Ornamental localizam-se neste distrito, na extensa formação de Estremoz, Borba e Vila Viçosa que, no seu conjunto, registavam em 1989 um total de 160 pedreiras activas, distribuídas da seguinte forma (MARTINS, 1991b: 321):

- Concelho de Estremoz - 28 pedreiras activas (Santo António, Cruz dos Meninos, Carrascal, Casqueira e Maria Dona);

- Concelho de Borba - 53 pedreiras activas (Faixa ocidental: Bouças, Barro, Branco, Tapadão, Poço Bravo e Mouro; Faixa oriental: Rossio, Carrascal, S. Sebastião, Encostinha e Rosal);

- Concelho de Vila Viçosa - 160 pedreiras activas (Faixa Oriental: Gradinha, Peixinho, Nabarro, São Marcos e Fonte da Mouras; Faixa Central: Vigária, Cabanas, Cagadinhas, Coutos, Herdade d'el Rei, Calva, Texugo, Guerra, Trás-os-Montes e Lagoa; Faixa Ocidental: Bencatel).

Em termos de evolução, o comportamento do número de pedreiras depende de diversos factores, destacando-se como os mais significativos as características geológicas das jazidas, o espírito empreendedor das empresas e comportamento do mercado.

A diminuição das pedreiras activas entre 1991 e 1993, tanto no Continente como no distrito de Évora, explica-se, em grande medida, pela presença de uma ligeira recessão no mercado externo.

3.2.2. Produção

No que concerne à produção de mármore e rochas afins (vd. quadros 3.4. e 3.6.), de novo se reforçam as ideias já expressas em parágrafos anteriores:

- Importância do distrito de Évora no contexto nacional;

- O andamento da produção neste distrito reflecte o comportamento da sua componente principal, o maciço de calcário cristalino de Estremoz, Borba e Vila Viçosa.

Quadro 3.4.
Mármore e rochas afins: Produção em milhares de escudos

	1989	1990	1991	1992	1993	T.M.C.A.
Distrito de Évora (1)	11861098	14647529	16618339	17826210	17651321	8,28%
Distrito de Beja (2)	143736	224229	229193	150374	251035	11,80%
Total (1)+(2)	12004834	14871758	16847532	17976584	17902356	8,32%
Total Continente	13608400	17023658	19387769	20694382	-	8,74%

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. INE.

Quadro 3.5.
Estrutura em Percentagem

	1989	1990	1991	1992	1993
	%	%	%	%	%
Distrito de Évora	98,8	98,5	98,6	99,2	98,6
Distrito de Beja (2)	1,2	1,5	1,4	0,8	1,4
Total (1)+(2)	100	100	100	100	100
Total (1)+(2)/Continente	88,2	87,4	86,9	86,9	—

Quadro 3.6.
Mármore e rochas afins: Produção em toneladas

	1989	1990	1991	1992	1993	T.M.C.A.
Distrito de Évora (1)	542674	591413	630693	643323	596028	1,89%
Distrito de Beja (2)	6691	9210	8849	5709	8869	5,80%
Total (1)+(2)	549365	600623	639542	649032	604897	1,94%
Total Continente	779105	885453	947761	962178	—	5,42%

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Quadro 3.7.
Estrutura em Percentagem

	1989	1990	1991	1992	1993
	%	%	%	%	%
Distrito de Évora	98,8	98,5	98,6	99,1	98,5
Distrito de Beja (2)	1,2	1,5	1,4	0,9	1,5
Total (1)+(2)	100	100	100	100	100
Total (1)+(2)/Continente	70,5	67,8	67,5	67,5	—

Através dos quadros 3.5. e 3.7., observa-se que em 1992, o distrito de Évora produzia 86,9% da produção do continente em valor (17826210 contos) e 67,5% da produção em toneladas (643323 toneladas), apontando estes resultados para o elevado valor comercial das rochas nesta região. Tal ideia é reforçada com o maior crescimento da produção em valor entre 1989 e 1993 no distrito (8,3%) comparativamente ao seu crescimento em tonelagem (1,9%).

O ritmo de crescimento da produção no distrito de Évora reflecte a importância do maciço, relevante não só no contexto do distrito, mas também no contexto nacional, com aproximadamente 75% da produção nacional em blocos de mármore (DGI, 1988: 11).

Em 1990, a região em apreço produzia em valor 98,8% dos mármore do distrito (vd. quadro 3.8.). Ao longo da década de 80 o seu significado cresceu bastante, com o primeiro quinquénio a revelar-se mais importante em termos de taxa média de crescimento anual (23%).

Quadro 3.8.
Mármore no triângulo Vila Viçosa - Borba - Estremoz
Produção em milhares de escudos

ANO	Vila Viçosa Borba Estremoz (1)	Distrito de Évora (2)	(1)/(2) %
1981	1765635	1832547	96,3
1982	2299444	2373359	96,9
1983	3046246	3121250	97,6
1984	3892950	3978229	97,9
1985	4978176	5074514	98,1
1986	6285117	6387668	98,4
1987	7615865	7732668	98,5
1988	9508368	9639505	98,6
1989	11703121	11861098	98,7
1990	14468819	14647529	98,8
T.M.C.A.			
1981-1985	23,04%	22,59%	
1986-1990	18,15%	18,06%	

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. INE.

No que respeita à produção em tonelagem (vd. quadro 3.9.), a evolução registada foi ligeiramente diferente, com o segundo quinquénio (1986-1990) a revelar uma taxa de crescimento da ordem dos 7,5% (3,6% no primeiro quinquénio).

Quadro n.º 3.9.
Mármore no triângulo Vila Viçosa - Borba - Estremoz
Produção em toneladas

ANO	Vila Viçosa Borba Estremoz (1)	Distrito de Évora (2)	(1)/(2) %
1981	319383	330767	96,6
1982	333327	343445	97,1
1983	351509	359968	97,7
1984	363951	371557	98,0
1985	381412	388438	98,2
1986	407740	414080	98,5
1987	439009	445431	98,6
1988	490067	496590	98,7
1989	535707	542674	98,7
1990	584457	591413	98,8
T.M.C.A.			
1981-1985	3,61%	3,27%	
1986-1990	7,47%	7,39%	

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. INE.

A explicação para esta diferença nos ritmos de crescimento da produção em valor e em tonelagem pode ser encontrada no comportamento da economia portuguesa, determinando a maior ou menor saúde da mesma, o comportamento da moeda e, nesta medida, os preços.

O dinamismo da produção acompanhou o crescimento das exportações pétreas ornamentais (abordadas no Sub-Capítulo 3.2.6.). De facto, não se pode ignorar que mais de metade da produção industrial da pedra se destina à exportação, afirmando-se como uma actividade onde o mercado externo é primordial.

3.2.3. Mão-de-Obra

Para o triângulo Borba-Estremoz-Vila Viçosa, apenas se encontram disponíveis dados comparáveis quanto ao número de operários até ao ano de 1989. No que concerne às remunerações, a única informação disponível refere-se ao ano de 1989.

Cabe aqui referir que o número de operários aumentou de 2071 trabalhadores em 1979 para 2586 trabalhadores em 1989 (SEQUEIRA e ANDRADE, 1992: 32) ao que corresponde uma taxa média de crescimento anual da ordem dos 2%, inferior à registada para a produção em tonelagem (6,33% para o período entre 1981 e 1990).

O andamento desta variável espelha o comportamento do número de pedreiras activas e da produção. A primeira variável explicativa é bastante oscilante, consequência da abertura aleatória de pedreiras sem prévio estudo da mais-valia do local em termos de recursos. Quanto à segunda, face a um abrandamento/aceleração da produção, as empresas diminuem/aumentam os efectivos na sua exploração.

Estes factores imprimem um comportamento muito irregular à variável em estudo, característica agravada pelo facto de um número significativo de trabalhadores estar ligado sazonalmente à actividade agrícola. Acresce a dureza do trabalho nas pedreiras e as parcas perspectivas de progressão na carreira, aspectos que afastam os mais jovens desta actividade.

Perante o exposto, os principais problemas em relação à mão-de-obra apontam no sentido de um elevado *turn-over* dos trabalhadores e uma média etária

elevada dos mesmos, resultando num fraco estímulo para a especialização e produtividade (SEQUEIRA e ANDRADE, 1992: 205).

3.2.4. Indicadores

Observando o quadro 3.10., de 1988 para 1989, a produtividade no distrito aumentou de uma média de 174,06 para 186,68 toneladas de mármore aproveitado/trabalhador.

Apesar desta evolução, a produtividade da mão-de-obra apresenta ainda valores muito aquém dos níveis mundiais, determinada em grande medida pela performance da indústria extractiva italiana, que se situava ao nível de 980 toneladas/trabalhador/ano já em 1986 (SEQUEIRA e ANDRADE, 1992: 72-73). Algumas das possíveis determinantes deste indicador já foram referidas no sub-capítulo 3.2.3., acrescentando-se o baixo nível de escolaridade dos trabalhadores e o reduzido interesse dos empresários da região na formação profissional.

A mecanização cresceu entre 1988 e 1989, passando de 40,33 para 42,92 CV/trabalhador. Aumentou também o rendimento do equipamento (4.39 em 1989 contra os 4.35 toneladas/CV registadas em 1988).

Os resultados para estes dois indicadores correspondem ao somatório das máquinas pertencentes às empresas bem estruturadas e organizadas e às pequenas unidades industriais. O predomínio destas últimas no tecido empresarial do sector, leva-nos a pensar que o equipamento é, de um modo geral, obsoleto face aos avanços tecnológicos que o sector conheceu nos últimos anos, cerceando a oferta, tanto na quantidade como na qualidade.

Quadro n.º 3.10.
Mármore no triângulo Vila Viçosa - Borba - Estremoz
Principais Indicadores

	Produtividade da mão-de-obra		Rendimento do equipamento		Grau de Mecanização	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Borba	146,29	157,49	3,71	3,87	39,45	40,65
Estremoz	147,46	155,97	3,61	3,55	40,9	43,95
Vila Viçosa	190,59	205,97	4,7	4,73	40,52	43,57
Total (1)	175,27	188,36	4,35	4,39	40,33	42,92
Distrito de Évora(2)	174,06	186,68	4,29	4,32	40,45	43,14

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Sem dúvida que a introdução da energia eléctrica nas pedreiras contribuiu para a melhor performance destes indicadores, ao permitir a automatização crescente de todo o processo de extracção. Também aqui a supremacia do triângulo Estremoz-Borba-Vila Viçosa fica patente: das 241 pedreiras em actividade em 1989, 193 (80,1%) estavam electrificadas (MARTINS, 1989: 208).

3.2.5. Estrutura Empresarial

Através do quadro 3.11. demonstra-se que no sector extractivo dos mármore e para a região em apreço, predominam as pequenas e médias empresas, observando-se também que os grandes índices de produção concentram-se num reduzido número de empresas:

- Em 1989, o terceiro escalão de produção (produção anual entre $1000 \leq P < 2000$ t) registava 28,1% das empresas e 19,1% das pedreiras, mas apenas com 10,4% da produção;
- Quanto ao volume de produção, evidencia-se o último escalão ($P \geq 20000$ t) com 37% da produção, distribuída por 44 pedreiras (18,3% do total), apontando para uma certa concentração da produção.

Quadro n.º 3.11.
Mármore no triângulo Vila Viçosa - Borba - Estremoz
Distribuição das empresas por escalões de produção (em toneladas)
Ano: 1989

Escalões de produção Anual (t)	N.º Empresas	N.º Pedreiras	Volume de Produção
P<500	25	26	10111
500≤P<1 000	23	24	17424
1 000≤P<2 000	36	46	55622
2 000≤P<5 000	20	33	68560
5 000≤P<10 000	12	37	89493
10 000≤P<20 000	7	31	96030
P≥20 000	5	44	198467
TOTAL	128	241	535707

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Quadro n.º 3.12.**Estrutura em Percentagem**

Escalões de Produção Anual (t)	N.º Empresas	N.º Pedreiras	Volume de Produção
P<500	19,5	10,8	1,9
500<=P<1 000	18,0	10,0	3,3
1 000<=P<2 000	28,1	19,1	10,4
2 000<=P<5 000	15,6	13,7	12,8
5 000<=P<10 000	9,4	15,4	16,7
10 000<=P<20 000	5,5	12,9	17,9
P>=20 000	3,9	18,3	37,0
TOTAL	100	100	100

Dispondo de uma das mais elevadas reservas geológicas do País, é natural que nesta região sejam as grandes empresas a efectuar a sua exploração, salve embora o facto de cerca de 1/3 das empresas ligadas à extracção na região, terem a sua sede em Lisboa-Pêro Pinheiro (SEQUEIRA e ANDRADE, 1992: 34).

Mais bem apetrechadas tecnologicamente, com maior critério na selecção dos depósitos a explorar e com critérios de lavra melhor programados, apresentam-se como as mais bem estruturadas e capazes de enfrentar os desafios da concorrência mundial, num sector como este, essencialmente voltado para o exterior (MARTINS, 1991: 330).

Nos escalões de mão-de-obra (vd. quadro 3.13.), um total de 44 empresas (34,4% do total) empregam menos de 6 operários, confirmando a já referida pequena e média dimensão das empresas nesta actividade.

Para além disso, podemos observar a pulverização da indústria extractiva até ao 3.º escalão, com um elevado número de empresas a explorar, em média, apenas uma pedreira.

Quadro n.º 3.13.

Mármore no triângulo Vila Viçosa - Borba - Estremoz
Distribuição das empresas por escalões de mão-de-obra
Ano: 1989

Escalões (N.º de operários)	N.º Empresas	N.º Pedreiras	Volume de Emprego (*)
N<=5	44	45	156
5<N<=10	30	32	232
10<N<=20	24	36	316
20<N<=30	11	25	285
30<N<=50	6	19	219
50<N<=100	9	44	593
N>100	4	40	785
TOTAL	128	241	2586

(*) - Número de operários

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Quadro n.º 3.14.**Estrutura em percentagem**

Escalões (N.º de Operários)	N.º Empresas	N.º Pedreiras	Volume de Emprego
N<=5	34,4	18,7	6,0
5<N<=10	23,4	13,3	9,0
10<N<=20	18,8	14,9	12,2
20<N<=30	8,6	10,4	11,0
30<N<=50	4,7	7,9	8,5
50<N<=100	7,0	18,3	22,9
N>100	3,1	16,6	30,4
TOTAL	100	100	100

3.2.6. Exportações

Como já foi referido, o sector das rochas ornamentais está essencialmente voltado para o exterior, revelando-se o mercado interno insuficiente para a rentabilização dos investimentos necessários a este tipo de exploração. Portugal não é alheio a esta realidade, ocupando o segundo lugar, logo a seguir à Itália, no que concerne à exportação de blocos de mármore (SEQUEIRA e ANDRADE, 1992: 5).

No quadro 3.15. verifica-se que no período de 1983 a 1988 teve lugar um grande dinamismo das exportações de mármore e rochas afins. No segundo período considerado (1989-1992) assistiu-se a um abrandamento das mesmas, com a sua efectiva estagnação nos anos de 1991 e 1992. Efectivamente, a estagnação da procura em alguns mercados, bem como a recessão da economia mundial, afrouxaram os investimentos produtivos no sector, muito embora o consumo não tenha parado de crescer.

Saliente-se, ainda, a crescente importância das exportações "em obra", com uma taxa de crescimento superior ao total em termos de tonelagem e valor (respectivamente 6,5% e 7,4% entre 1988-1992), o que correspondeu a um esforço de introduzir no produto exportado um maior valor acrescentado.

Quadro n.º 3.15.

Mármore e rochas afins: Exportação em blocos, serrados e em obra
(Valor FOB)

	Em blocos		Serrado		Em obra		Total	
	t	contos	t	contos	t	contos	t	contos
1983	77698	1037276	11293	354419	37143	2172190	126134	3563885
1984	76832	1197668	14196	536928	55418	4011343	146446	5745939
1985	67610	1199846	19893	747729	64514	5339858	152017	7287433
1986	80367	1864030	23479	1086525	67813	6169673	171659	9120228
1987	73272	1871812	36349	1701824	81558	7290418	191179	10864054
1988	44947	1075477	73520	3033179	120596	10418669	239063	14527325
1989	46058	1164042	77697	3303736	146386	12256956	270141	16724734
1990	55830	1671972	84966	3860528	163792	15308523	304588	20841023
1991	56062	1779706	81818	3633021	175293	15929154	313173	21341881
1992	76783	2588597	64328	3183890	176363	15963215	317474	21735702
T.M.C.A.								
1983-1988	-8,72%	0,60%	36,65%	43,02%	21,69%	29,86%	11,24%	26,39%
1988-1992	9,34%	15,76%	-2,20%	0,81%	6,54%	7,37%	4,84%	6,95%

Fonte: Direcção-Geral de Geologia e Minas.

Em apreciação geral, poder-se-á afirmar que a evolução da penetração das rochas ornamentais, nomeadamente o mármore, no mercado externo, tem sido bastante favorável, com a particularidade de se assistir a uma crescente transformação nos produtos exportados. As características decorativas de algumas variedades de mármore potenciaram o crescimento das exportações, como é o caso dos mármore cristalinos rosa e creme de Vila Viçosa.

A procura dos mármore tem evoluído favoravelmente, superando a crise nalgumas das suas utilizações tradicionais (funerárias, decorativas e construção civil), através do seu crescente papel na construção de edifícios e decoração de interiores de habitação. Os novos segmentos de mercado com mais potencialidades

surgem nas decorações urbanísticas e de espaços de lazer e nas aplicações em edifícios destinados ao sector terciário.

No que concerne aos mercados de destino privilegiados pelo sector exportador português, a União Europeia (UE) continua a ser o maior cliente, absorvendo 70% das exportações de mármore, destacando-se com particular importância a Espanha, a França, a Itália, a Alemanha, a Bélgica e o Luxemburgo (A PEDRA n.º 48, 1993: 55).

3.2.7.Preços

A sua evolução é determinada pelos custos de produção e pela evolução da oferta e procura, esta última influenciada pela moda, beleza, cor, qualidade, e abundância ou raridade das jazidas conhecidas.

Quadro n.º 3.16.
Mármore e Rochas Afins: Preços em Janeiro de 1991
Unidades: Contos

	Preços (**)
<i>Blocos</i>	
Preços na Pedreira	
1.ª escolha (5%) (*)	40
2.ª escolha (15%) (*)	31,6
3.ª escolha (35%) (*)	24,3
4.ª escolha (45%) (*)	20,5
Custo de transporte	0,012 a 0,015 / t /Km.
Encargos de exportação (FOB)	3,25 a 4 / tonelada
<i>Chapas Serradas e Ladrilhos</i>	
Preços à saída da f.ábrica(espessura de 2 cm):	
Mármore alentejanos	3,5 a 12 / m ²
Acabamentos (brunido, bujardado, flamejado, amaciado, polido, etc.)	0,75 a 1,5 / m ²
Encargos adicionais de exportação (FOB) (***)	3,25 a 4 / toneladas

NOTA: (*) - Percentagens aproximadas dos volumes produzidos e referentes a mármore.

(**)- Valores obtidos junto de diversos industriais.

(***) - Para o porto de Lisboa temos um encargo adicional de 3 a 4 contos /tonelada.

Fonte: Cevalor. 1992.

Da análise do quadro 3.16. podem-se retirar as seguintes conclusões:

- Os calcários cristalinos do Alentejo apresentam os preços mais elevados, tanto em bloco como em produtos transformados, resultado da sua maior qualidade;

- Os custos de transportes oneram o preço entre 3 e 5 contos/tonelada, consoante a localização da pedra e da fábrica (assunto que será tratado no Sub-Capítulo 3.2.8.);
- Os custos e encargos com a exportação (FOB em Setúbal e Lisboa), oneram os preços entre 3 e 4 contos/tonelada.

No quadro 3.17. pode-se observar a evolução dos preços do mármore a nível nacional. Conclui-se também que o preço mais elevado das importações de mármore em blocos, comparativamente ao preço das exportações, pode ser explicado pelos encargos no transporte e/ou qualidade do mármore importado.

O preço de exportação dos mármore em obra registou uma ligeira melhoria, acompanhando a tendência já referida anteriormente de uma maior transformação do produto exportado.

Na generalidade, o crescimento dos preços não se apresenta como significativo, aspecto que pode encontrar explicação no crescimento reduzido dos custos, resultado da introdução de novas tecnologias e o aumento da produtividade verificados nos anos em apreço.

Quadro n.º 3.17.

Mármore e Rochas Afins: Evolução de alguns preços médios (P.C.)

Preços na Fábrica	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Blocos (contos/m ²)	15,7	19,2	21,9	24,8	24,7	24,6	(*)	(*)	(*)
Chapas serradas (contos/m ²)	0,94	1,03	1,08	1,09	1,39	1,5	(*)	(*)	(*)
Preços de exportação (FOB) (contos/t)									
Blocos	8,5	13,6	15,8	18,1	23,1	23,4	24	25,3	30
Chapas serradas	18,6	31,5	38,6	37,9	45,1	45,6	41,5	42,8	45,6
Em obra	50,4	61,9	73,7	86,7	94,4	96,2	105	102,1	100,5
Preços de importação (CIF) (contos/t)									
Blocos	(*)	(*)	(*)	36,1	34	32,3	23,5	18,6	18,9

NOTA: (*) - Valores não disponíveis

FONTE: Estatísticas Industriais e Estatísticas do Comércio Externo (INE).

3.2.8. Transportes

O factor transporte assume, desde há muito, papel fundamental no sector pétreo ornamental, papel que tem vindo a crescer com o aumento da capacidade produtiva e do intercâmbio comercial.

À sua importância juntam-se por um lado, a sua elevada incidência sobre o custo final do produto (1/4 do mesmo), por outro, as limitações operativas que caracterizam a actividade de transporte.

No caso português, o custo de transporte à saída da pedreira é agravado por dois problemas:

- As indústrias transformadoras localizam-se maioritariamente na região de Lisboa (Pêro Pinheiro) , agravando-se o custo de transporte pelo facto do mármore provir essencialmente do Alentejo;
- O material é transportado em bloco. Deste modo, é também transportado a tonelagem de estéreis que a transformação produz, sendo as toneladas transportadas significativamente superiores ao que seria necessário.

O transporte internacional de mármore continua a privilegiar o transporte marítimo, muito embora o transporte rodoviário tenha vindo a crescer em importância (FONSECA, 1993: 12). Sobre o primeiro impelem diversos problemas:

- O seu elevado custo em termos de combustível, agravado, por vezes, pelo congestionamento dos portos;
- Elevado número de operações que envolve;
- Custos de aquisição, manutenção e amortização bastante elevados.

Quanto ao transporte rodoviário, a sua importância é crescente, constituindo um factor determinante para o futuro desta indústria, tanto na ligação entre pedreiras e fábrica, como no encaminhamento da mercadoria para os postos de desembarque. A sua concorrência em relação ao transporte marítimo tem sido crescente, resultado da diminuição dos seus custos relativamente àquele (FONSECA, 1993: 13).

No transporte de mercadoria no interior do país tem lugar preponderante o transporte particular (por conta própria), seguindo-se o transporte público, este utilizado para as grandes distâncias (FONSECA, 1993: 17).

O transporte ferroviário revela um peso diminuto, embora seja aquele que apresente a menor incidência nos custos da energia sobre o custo de transporte (FONSECA, 1993: 21).

3.3. INCENTIVOS AO INVESTIMENTO

O Quadro Comunitário de Apoio (**QCA**) referente ao período de 1989 a 1993, incluiu um Programa Operacional (**PO**) para a região dos mármore (Estremoz, Borba, Vila Viçosa, Alandroal, Redondo e Reguengos de Monsaraz).

Este programa inseria-se no Eixo 6A) do **QCA**, que visava o desenvolvimento das potencialidades existentes em cada região, tendo em conta as suas diferentes especificidades geográficas, humanas, económicas e culturais.

A estratégia de desenvolvimento visava, e em resumo, os seguintes objectivos:

- A diversificação do tecido económico;
- O aumento do valor acrescentado à matéria-prima extraída;
- A valorização dos recursos humanos através da formação profissional;
- A promoção do dinamismo empresarial, nomeadamente ao nível das pequenas e médias empresas;
- A compatibilização dos objectivos ambientais com os da promoção da actividade económica.

Para o sector industrial, e no âmbito do apoio do **FEDER**, as linhas de estratégia assentam em dois aspectos cruciais:

- Formação de um tecido empresarial e industrial diversificado e sólido;
- Desenvolvimento de infraestruturas, melhoria da qualidade e competitividade e aproveitamento dos recursos endógenos.

Na concretização destas duas linhas estratégicas, procuraram-se executar as seguintes medidas:

- Criação de infraestruturas de apoio ao desenvolvimento industrial;
- Modernização do tecido industrial;
- Apoio às novas empresas;
- Criação de um Centro Tecnológico e de Formação para o sector das mármore (**CEVALOR**);

- Divulgação de informação para a indústria.

A indústria extractiva recebeu, ainda, apoios do Fundo Social Europeu (**FSE**), do Sistema de Incentivos de Base Regional (**SIBR**), do Programa Específico de Desenvolvimento da Indústria Portuguesa (no âmbito do **SINPEDIP**) e ainda do sistema de incentivos a Pequenos Projectos de Investimento (**PPI**).

No âmbito do **SIBR**, e para o total da região Alentejo, de Janeiro de 1988 a Abril de 1993, e abrangendo ainda algumas candidaturas de 1987 que transitaram do antigo Sistema de Estímulos de Base Regional (**SEBR**), foram aprovados 138 projectos com um investimento previsto superior a 59 milhões de contos e a criação de 2706 novos postos de trabalho. Para este total, o **SIBR** contribuiu em 17% para o investimento total (10 milhões de contos), do qual as indústrias extractivas receberam 30,1%, predominando no total de incentivos (IAPMEI, 1994: 12).

Destaque ainda para o **PPI**, onde a indústria extractiva (CAE 29) absorveu 22,4% dos incentivos, que juntamente com a indústria transformadora de minerais não metálicos (CAE 36), predominavam relativamente aos restantes (IAPMEI, 1994: 12).

No domínio dos serviços de apoio à indústria, destaca-se a criação do **CEVALOR**, em Janeiro de 1990, com o apoio do **PEDIP**. Esta instituição procura apoiar a modernização e reestruturação do sector das rochas ornamentais e industriais, através de um conjunto de medidas, das quais se destacam:

- Fomento da criação de uma marca de qualidade;
- Estímulos ao aumento e melhoria da produtividade;
- Formação profissional;
- Promoção de acções de demonstração da implementação de novas tecnologias.

Em resumo, as potencialidades de desenvolvimento deste sector atraíram financiamentos públicos e privados, cujo objectivo foi o de modernizar as unidades em termos tecnológicos e de mão-de-obra, aspectos essenciais para enfrentar os desafios de uma concorrência crescente.

3.4. CONCLUSÕES

Portugal possui importantes reservas de mármore, situando-se na região Alentejo uma parte significativa desta riqueza. A beleza, qualidade, fracturação e raridade das rochas são variadíssimas, satisfazendo diversos segmentos do mercado e conferindo a Portugal uma posição preponderante no comércio externo das mesmas.

No entanto, existem ainda problemas estruturais no sector, bloqueadores do seu dinamismo e potencial económico, que se colocam ao nível da estrutura industrial e factores naturais.

A estrutura industrial está enferma de vários problemas:

- Predomínio das pequenas e médias empresas do tipo familiar;
- Dispersão e pequenez das pedreiras, impedindo a utilização de tecnologias mais sofisticadas;
- Mão-de-obra com elevado nível etário e pouco especializada;
- Baixo grau de mecanização.

No que concerne aos factores naturais, destacam-se os seguintes aspectos:

- Inexistência de inventariação das reservas existentes e viáveis em termos económicos;
- Utilização de tecnologias que não incrementam uma menor fracturação das jazidas (fio helicoidal ou diamantado);
- Reduzida investigação geológica e geotécnica de pormenor que permita caracterizar o maciço do ponto de vista da sua explorabilidade

Estes problemas reduzem a capacidade competitiva do sector face aos desafios da mundialização do comércio, num momento em que se consciencializou que os principais factores de competitividade e de sucesso assentam na existência de uma forte capacidade financeira e de recursos humanos qualificados.

Pese embora estes problemas, as perspectivas para o sector são favoráveis, prevendo-se como hipótese uma taxa de crescimento de 7 a 10%, para o período de 1995 a 2000 (DGI, 1987: 77). Este valor será essencialmente determinado pelo

ritmo de crescimento do sector de construção, utilizador por excelência das rochas ornamentais e pela superação dos constrangimentos já referidos.

Relativamente às reservas, as perspectivas são também favoráveis, considerando que as estimativas realizadas por defeito, para a região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, ascendem aproximadamente a 75.000.000 toneladas de mármore (DGI, 1988: 11). Este valor deve ser tomado como referência da ordem de grandeza das reservas, carecendo de estudos técnicos que permitam a sua avaliação. Por outro lado, as explorações nesta mancha são, na generalidade, bastante jovens, raramente apresentando mais do que 3 ou 4 pisos, cada qual com 5 metros de altura (MARTINS, 1991b: 313).

4. IMPACTOS AMBIENTAIS DE PEDREIRAS

4.1. BREVE INTRODUÇÃO À PROBLEMÁTICA DO AMBIENTE

Colocam-se vários problemas ao ambiente e aos recursos naturais pela utilização dos sistemas ecológicos na actividade produtiva e no consumo. Numa abordagem económica, estes problemas podem ser caracterizados pela existência de uma discrepância entre a procura dos bens e serviços e a oferta proporcionada por esses sistemas.

Por outro lado, a degradação do meio-ambiente tem de ser vista como um problema prioritário, na medida em que os objectivos de conservação não estão a ser alcançados. Assim, a abordagem ecológica parece ser fundamental.

Tal como BRAAT e VAN LIEROP (1987: 7) afirmam "*(...)problemas ambientais e de recursos têm geralmente pelo menos um lado económico e ecológico*".

Mas só recentemente as questões ambientais têm merecido interesse por parte da comunidade científica e por parte da classe política. A publicação do relatório "OUR COMMON FUTURE" (1987), reavivou as preocupações, não só em relação aos problemas locais e diários de poluição, mas também em relação à impossibilidade de um desenvolvimento sustentado, inaugurando assim a década do ambiente.

Segundo este relatório, os problemas que ensombram o nosso futuro comum resultam:

- Da pobreza massiva (provocando a degradação de algumas zonas urbanas);
- Do crescimento populacional (de que resultam problemas em termos de alimentação e alojamento);
- Das alterações climáticas (causando o aumento do nível das águas do mar e destruição da camada de ozono);
- Da destruição da qualidade ambiental (associada à desflorestação, desertificação e extinção de espécies).

Se o desenvolvimento não pode subsistir num ambiente e numa base de recursos deteriorados e destruídos, a humanidade não os pode proteger se, na contabilização do crescimento, tais aspectos não são considerados.

Os problemas não podem estar separados. Estão ligados num complexo sistema de causa-efeito. Dando alguns exemplos:

- As pressões ambientais estão interligadas (desflorestação conduz a uma rápida erosão dos solos);
- Pressão ambiental e padrões do desenvolvimento económico estão ligados (p.e. aspecto paisagístico e económico da florestação);
- Problemas económicos e ambientais estão ligados a factores económicos e sociais (crescimento populacional, ambiente e economia);
- Ecossistemas não respeitam fronteiras entre países.

Mas apesar do aspecto ameaçador das alterações, a Comissão acreditava que o ser humano dispunha de conhecimentos e capacidades para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Foi precisamente este último conceito, *Desenvolvimento Sustentável*, a grande novidade introduzida, sendo objecto das mais profundas reflexões no sentido da sua clarificação.

Entendeu-se como sendo o caminho para o progresso da humanidade, que vai ao encontro das necessidades e aspirações das gerações actuais, sem comprometer as necessidades e aspirações das gerações futuras.

"A humanidade tem capacidade para tornar o seu desenvolvimento sustentável" (OUR COMMON FUTURE, 87: 8), isto é, assegurar a satisfação das necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.

Dois conceitos essenciais:

- "Necessidades", onde se confere prioridade à resolução dos problemas de proeza;
- A ideia das limitações impostas pelo desenvolvimento tecnológico e social, que influenciam a capacidade do meio-ambiente satisfazer as necessidades.

As políticas no âmbito da gestão do ambiente incidem sobre os factos já consumados, isto é, limitam-se a reparar os danos já provocados. A antecipação e a prevenção da destruição ambiental exigem dimensões ecológicas na política a ser

desenvolvida, coordenadas com as dimensões económica e social , saltando da escala local e regional para a escala mundial.

Mesmo assim, até ao início do século XX, as alterações ambientais eram diminutas e modestas, na medida em que o sistema tecnológico e económico não tinha capacidade para alterar as condições ambientais drasticamente.

Contudo, a seguir à Segunda Guerra Mundial, a capacidade da humanidade para destruir o meio-ambiente aumentou consideravelmente, em parte resultado do aumento da capacidade tecnológica, em parte como resultado do crescimento da população mundial (com o conseqüente aumento do consumo e do fenómeno das migrações).

Pela primeira vez, houve a preocupação de equilibrar o sistema ambiental com o sistema sócio-económico, surgindo nesta altura novas disciplinas como a economia do ambiente (ARCHIBUGI e NIJKAMP, 1989: 1).

Tal como REES (1990: 49) refere: "*Têm sido tomadas decisões quanto à produção e consumo dos recursos, sem ter em consideração o uso de recursos não integrados no mecanismo de mercado*".

4.2. AS PEDREIRAS E O AMBIENTE

4.2.1. Introdução

A indústria extractiva coloca, desde há séculos, desafios ao ambiente, destruindo, na zona onde se implanta, alguns dos bens ambientais mais preciosos, colocando em causa a visão mais optimista daqueles que vêm no funcionamento do mercado, a solução para todos os males.

A actividade extractiva desenvolvida em céu aberto, causa os mais variados prejuízos ao meio-ambiente, quer durante a fase de produção ou de exploração, quer mesmo após a cessação da actividade.

A existência de um sub-solo rico em calcário cristalino na região Estremoz, Borba e Vila Viçosa, conduziu ao desenvolvimento da actividade extractiva na proximidade dos três núcleos urbanos. No entanto, a importância sócio-económica desta actividade não pode levar ao esquecimento de aspectos fundamentais, como é a preservação do equilíbrio ambiental.

A descrição e caracterização dos vários impactos resultantes da actividade extractiva deve ser iniciada pela análise dos mesmos durante as diversas fases do processo produtivo, pois embora a sua intensidade e duração sejam substancialmente maiores durante a fase de exploração, após o seu encerramento, alguns desses impactos permanecem no decorrer de vários anos com contornos agravados.

4.2.2. Impactos Produzidos nas Várias Fases da Vida de uma Pedreira

Tendo em conta o que foi referido, verifica-se que as disfunções geradas pelas pedreiras são criadas em três fases:

a) Antes da Exploração

A escolha da localização de uma pedreira tem subjacente vários problemas na medida em que representa uma concorrência em relação a utilizações alternativas para o solo. No caso da região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, os melhores solos agrícolas encontram-se sobre calcários cristalinos com eventual interesse económico alternativo.

Tal como COSTA (1992: 282) refere "*(...) os impactos negativos provocados pela exploração começam, em geral, bastante antes de se instalar a pedreira*".

A fase de prospecção e pesquisa das massas minerais, não é a mais prejudicial em relação ao ambiente. Os trabalhos desta fase passam pela abertura de valas com vista ao reconhecimento da jazida e avaliação das suas eventuais aptidões para a exploração. Os resultados positivos desta fase conduzirão à subsequente destapagem das "cabeças de mármore", resultando desta operação, a destruição de solo arável numa pequena parcela.

b) Durante a Exploração

Caso a fase anterior tenha sido favorável à exploração, têm início os trabalhos preparatórios do terreno para o desenvolvimento da actividade extractiva, correspondendo a esta fase um período geralmente longo, onde a intensidade, diversidade e gravidade dos impactos aumenta consideravelmente.

Na definição da área útil da pedreira, comprovada que está a viabilidade económica da exploração terá lugar o projecto de *layout*, que compreende também todas as instalações e locais de apoio à actividade extractiva, como sejam a zona

de depósito do rejeitado pela exploração, a casa dos compressores, a grua fixa e a casa dos guinchos que a accionam, o posto de transformação, o refeitório, barracas de armazenamento de materiais diversos, o cais de acabamento e o parque de blocos (MENDES, 1984: 25).

Definida que está a área útil de exploração, onde se processarão os trabalhos de traçagem, preparação e desmonte, há que resolver o problema dos acessos à zona do depósito a extrair e o de ligação à estrada principal, ou secundária, que mais perto passar.

A extracção de matéria-prima corresponde normalmente à execução dos seguintes trabalhos (MIRANDA e CABRAL, 1993: 116):

- Os trabalhos de preparação que incluem destapação e abertura de canais permitindo o acesso à massa mineral a ser extraído;
- Os trabalhos de desmonte que possibilitam a divisão dos volumes de massa mineral libertada em blocos comerciais.

Os trabalhos de traçagem englobam as seguintes etapas (MENDES, 1984: 27):

- Remoção dos terrenos de cobertura nos afloramentos;
- Abertura do canal principal, com direcção tanto quanto possível perpendicular à linha de maior pendor dos bancos;
- Abertura de canais laterais.

Segue-se a preparação do desmonte que, em linhas gerais, consiste no conjunto de operações que permitem a sua compartimentação em sub-quadros devidamente destacados, por serragem do piso inferior onde assentam. Efectuada esta operação, procede-se ao esquadrejamento, carga, transporte e armazenagem dos blocos e dos resíduos de extracção.

Segundo COSTA (1992: 283-284), estas operações acarrectam um conjunto de impactos que podem ser enumerados da seguinte forma:

- Problemas de instabilidade dos taludes da escavação e dos aterros;
- Destruição do solo arável, pelo processo de destapação e compactação, bem como pela sua ocupação crescente, pelo parque de blocos e escombrelas;

- Alteração da morfologia original, com o desnível existente entre a altura das escombreyras e a profundidade da escavação;
- Alteração do regime hídrico superficial;
- Interferência no regime hidrogeológico pelos processos de bombagem, podendo conduzir ao rebaixamento e esgotamento dos poços e nascentes;
- Riscos de contaminação dos aquíferos locais, pela infiltração de óleos e outros efluentes.

Em suma, os impactos negativos alargam-se espacialmente e manifestam-se de forma mais intensa. Tais impactos serão mais desenvolvidos no sub-capítulo 4.2.3..

c) Após a Exploração

Apesar da legislação existente (Decreto-Lei 89/90 de 16 de Março), as explorações são frequentemente abandonadas, fazendo-se sentir impactos sobre a vegetação, provocados pelos distúrbios do regime hídrico subterrâneo e de superfície, bem como pela alteração das restantes condições ambientais, como sejam a morfologia do terreno, abandono de equipamentos e utilização da depressão como depósito de lixo e resíduos.

A recuperação paisagística revela-se assim, como o principal problema nesta fase. A vegetação encontra dificuldades em instalar-se e desenvolver-se já que as condições essenciais foram destruídas.

Para além do aspecto referido, a água estagnada da chuva no fundo das pedreiras pode criar zonas perigosas, aumentando a contaminação do lençol freático e a instabilidade dos taludes.

No quadro 4.1., sintetizam-se os impactos negativos provocados pela exploração das pedreiras em cada uma das fases de sua vida.

Quadro 4.1.
Impactos Negativos no Ambiente Provocados pelas Pedreiras

A - ANTES DA FASE DE EXTRACÇÃO							
SITUAÇÃO		IMPACTOS EM:					
FASE	ACÇÃO	SOLOS	CULTURAS	MATOS	ÁRVORES	FAUNA	ZONAS ADJACENTES
Expectativa	Pousio	Diminuição da produtividade agrícola		Crescimento descontrolado	—	—	—
Prospecção e Pesquisa	Valas, sanjas e sondagens	Destruição parcial do solo e eventuais culturas e matos			Danos pontuais	Perturb. pontuais	Perturb.mínima e transitória
Trabalhos preparatórios	Limpeza de terreno	Remoção e destruição do solo arável, eventuais culturas, matos e árvores				Perturb. c/ destr. habitats	Perturbações e poluição crescentes (ruído, água e poeiras)
	Destapagem e abertura de acessos	Remoção Mistura em depósitos Compactação por equip. pesados	—	—	—	Perturb. generalizada, c/ destruição de habitats em áreas exteriores	Modificação da rede de drenagem natural Danos (nas raízes, em árvores, etc.)

B - DURANTE A FASE DE EXTRACÇÃO		
ACÇÕES	CONSEQUÊNCIAS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS
Instalação de máquinas e equipamentos	Introdução de elementos de parques de blocos, aterros e entulheiras	Degradação visual
Desmonte e esquadreamento de pedra Carga e transporte de blocos e detritos	Criação e alastramento de parques de blocos, aterros e entulheiras	Poluição (sonora, águas e poeiras) Alteração da topografia pré-existente Alienação de novas parcelas de terrenos

Quadro 4.1. (cont.)

B - DURANTE A FASE DE EXTRACÇÃO (cont.)		
ACÇÕES	CONSEQUÊNCIAS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS
Abertura de novos pisos e aumento da área explorada	Alargamento do espaço afectado Criação de taludes em escavação e aterro	Estabilização de taludes rochosos, terrosos e misturas Insegurança de pessoas e animais
Esgoto de águas pluviais ou devidas à interferência do nível freático	Bombagem; modificação da rede hidrológica local Infiltração de poluentes (óleos, etc.)	Rebaixamento em furos de captação próximos Esgotamento de poços e nascentes Riscos de contaminação de aquíferos Diminuição de produtividade agrícola (indirectamente)

C - APÓS A FASE DE EXTRACÇÃO		
ACÇÕES	CONSEQUÊNCIAS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS
Abandono da pedreira sem aplicação de medidas de segurança e recuperação	Manutenção de desníveis abruptos	Criação de panorâmicas de valor estético negativo
	Abandono de maquinaria	
	Ausência de condições para regeneração espontânea	Inexistência de cobertura vegetal a curto, médio e longo prazo
	Instabilização progressiva de taludes pouco estáveis Restabelecimento natural do lençol freático Ausência de vedações e muros de protecção	Insegurança (permanente) de pessoas e animais Riscos de poluição permanente de aquíferos vulneráveis

FONTE: COSTA (1992: 280).

4.2.3. Tipologia dos Impactos

Do que ficou referido, conclui-se que é durante a fase de exploração de massas minerais a céu aberto, que o equilíbrio do meio-ambiente é mais seriamente danificado, sendo esta fase a que gera os maiores impactos ambientais.

Os aspectos mais desfavoráveis inerentes, em resumo, são os seguintes: emissão de fumos, gases e de efluentes líquidos provenientes dos equipamentos de laboração; ruído, vibrações e emissão de poeiras resultantes da operação de extracção da rocha; resíduos industriais acumulados na zona da pedreira; escombrelras; e segurança das escavações.

Os impactos produzidos difundem-se por diversas componentes do ambiente que urge separar e analisar em maior profundidade. Segundo GONZÁLEZ (1990: 312), as principais componentes afectadas por um projecto mineiro são as seguintes:

- O Homem e as suas comunidades;
- A água;
- O ar;
- O solo;
- A fauna e a flora;
- O património cultural e histórico;
- A paisagem.

Estes factores serão analisados separadamente quanto à forma que poderão ser perturbados pelas explorações e, sempre que possível, dados exemplos da região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa.

4.2.3.1. Impactos no solo

O solo arvora-se como o factor mais afectado pela exploração de pedreiras, ocorrendo os impactos a dois níveis: perda de solo arável e contaminação do solo por substâncias tóxicas.

Verifica-se a ocupação de solo fértil com a criação de escombrelras, a abertura da cava e a instalação das infraestruturas associadas à exploração. A abertura da pedreira envolve a decapagem, remoção, transporte e descarga da terra em aterros. Também os processos de compactação dos terrenos nos caminhos de acesso, implicam a erosão e sedimentação. As poeiras vão-se acumulando, favorecendo o aparecimento de lamas na época das chuvas.

O solo removido é geralmente colocado em montes, sem qualquer preocupação de o acondicionar devidamente e separá-lo dos desperdícios da pedra, bem como de proceder ao recobrimento vegetal.

A contaminação do solo dá-se através das descargas directas de efluentes líquidos e resíduos industriais.

Na região abundam os solos das classes A e B, de boa e moderada aptidão agrícola (RAMALHO, 1981: 39), ocupando as pedreiras extensas áreas dos mesmos, traduzindo-se esta situação por uma destruição e esterilização das várias camadas de solo vivo.

4.2.3.2. Impactos sobre a água

A exploração das rochas ornamentais afecta as águas subterrâneas em duas vertentes: no seu volume e nas suas características físicas e químicas.

Quanto às águas subterrâneas, o aumento da profundidade da extracção é acompanhado pela necessidade de bombagem da água, podendo resultar deste processo, danos nas captações e o esgotamento de poços e nascentes vizinhos. As suas características físico-químicas sofrem igualmente alterações, através da descarga de efluentes (óleos, etc.) e infiltração de poluentes nos aquíferos. Esta última resulta, essencialmente, da deposição e concentração de minerais solúveis e potencialmente contaminantes, sobretudo quando as pedreiras são abandonadas.

No que concerne às águas superficiais, tem lugar o desvio e modificação da rede de drenagem natural, resultantes da localização da pedreira.

Estas águas vão ser utilizadas nos diversos processos que envolvem a actividade extractiva, bem como no primeiro tratamento dado às rochas, aumentando a concentração de partículas sólidas em suspensão e, conseqüentemente, as águas tornam-se mais turvas, afectando a fauna e flora, bem como o próprio consumo humano e industrial.

A temperatura da água poderá também ser alterada, tanto no sentido do seu aumento (se houver uma súbita diminuição de profundidade da lâmina de água), como da sua diminuição (se houver um transporte de sedimentos provindos da área de escavação).

As características geológicas da formação calcária na região (de elevada permeabilidade) permitem a infiltração abundante de água, conduzindo a uma maior

necessidade de bombagem. Para além disso, numa zona onde a actividade agrícola é importante, a contaminação das águas dos poços e nascentes torna-se extremamente problemática.

4.2.3.3. Impactos na Qualidade do Ar

A qualidade do ar é afectada pela emissão de fumos e gases, provenientes do equipamento, e pela emissão de poeiras resultantes do processo de extracção e criação de escombreyas, bem como pelos movimentos do equipamento nas pistas e caminhos de acesso.

Estes factores emissores, associados aos factores imissores, vão condicionar principalmente a concentração, dispersão e permanência das poeiras em certos níveis da atmosfera e em locais específicos. Juntos são responsáveis pelo maior ou menor grau de poluição do ar e deposição de partículas sólidas sobre os recursos naturais e populações urbanas ou rurais do meio circundante à actividade mineira.

4.2.3.4. Ruídos e Vibrações

As principais fontes de ruído resultam da utilização de equipamentos na extracção e no tratamento primário do material (caso do fio-diamantado ou da talha de blocos, etc.), afectando sobretudo os trabalhadores e a um nível menor as populações vizinhas.

As vibrações provocadas pela circulação de camiões ou as resultantes das explosões, afectam sobretudo os imóveis.

4.2.3.5. Impactos na Fauna e Flora

As consequências a este nível saldaram-se na diminuição das espécies autóctones e redução na variedade dos ecossistemas.

No caso da flora, assiste-se à eliminação directa da cobertura vegetal, a sua capacidade de regeneração é danificada pela perda de elementos férteis e aumento da erosão, resultantes dos processos já descritos anteriormente, mas também da alteração das características físico-químicas da água. Para além disso, a deposição de partículas sólidas sobre a vegetação forma uma película, impedindo o seu crescimento e diminuindo a sua vitalidade.

Os impactos na fauna resultam das alterações já referidas ao nível da água e da flora, saldando-se na eliminação e alteração dos habitantes terrestres e aquáticos surgindo outros menos desejáveis.

Na região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa predominam as consociações arbóreo-arvenses (montados de sobro e azinho com culturas arvorenses sob-coberto) e as culturas arvenses de sequeiro.

4.2.3.6. Impactos na Paisagem

A principal consequência no carácter da paisagem, corresponde à alteração da morfologia da zona. Uma pedreira a céu aberto, introduz elementos "dissonantes" na paisagem como as cavas, de extensões variadas e profundidades diversas, e escombreyras, das mais variadas formas e alturas.

No que respeita ao impacto visual, tudo depende do número e proximidade das pedreiras, e a sua apreciação está imbuída de uma certa subjectividade. Olhando-as no seu conjunto, verifica-se uma certa dominância de posição, isto é, ocupam uma posição fundamental no campo de visão de um observador situado em diversos pontos da paisagem, mas também o elemento subjectivo está presente quando se aprecia a alteração da qualidade paisagística resultante da introdução de formas, cores e texturas discordantes com a paisagem inicial (JIMENO, 1993)

As pedreiras do maciço situam-se em zonas planas, ocupadas por oliveis, montados ou ainda culturas arvorenses de sequeiro. As alterações originadas pela instalação de pedreiras ficam bem patentes no visual e estéticos negativos que causam, bem como pelas repercussões que têm numa paisagem essencialmente rural.

4.2.3.7. Impactos no Património Cultural, no Construído e nas Infraestruturas

A emissão de poeiras, de fumos, de gases, os efluentes líquidos e os resíduos industriais, podem provocar degradações irreversíveis no património histórico-cultural. As vibrações resultantes das operações com explosivos podem também afectar o património existente na vizinhança da exploração.

Deste modo, é fundamental respeitar as distâncias mínimas exigidas pela legislação portuguesa (D.L. n.º 89/90 de 16 de Março), minimizando a influência da actividade extractiva neste aspecto.

4.2.3.8. Instabilidade de Taludes

Para além de todos os impactos referidos, será pertinente referir os riscos inerentes à exploração da jazida.

A instabilidade dos taludes é um dos riscos mais importantes. Nos taludes da cava, deve ser respeitado o ângulo de inclinação limite, dependente do tipo de rocha, suas estruturas, o tipo de material a preenchê-las, o grau de alteração, a presença de água e a profundidade a ser atingida pela cava, entre outros aspectos.

Caso estes factores não tenham sido tomados em conta, podem ocorrer vários acidentes, relacionados com o deslize ou deslocamento, afectando trabalhadores, estradas, edifícios, etc.

No caso das escombreyras, é necessário ter em conta o tipo de material depositado, o substrato que suporta a escombreyra, a presença de água, o volume de material a ser depositado e a granelometria, factores que condicionam a geometria do depósito, a altura máxima a ser atingida e o ângulo de repouso do material. Do desrespeito destes factores na constituição das escombreyras, podem resultar as consequências já referidas.

4.2.4. Características dos Impactos

Os métodos e tipos de exploração condicionam o tipo e importância dos impactos produzidos sobre as componentes do ambiente (RAMALHO, 1981: 60-62). Atendendo à dimensão das explorações, podemos considerar a existência de dois tipos de explorações: as médias e grandes e as pequenas explorações.

Quanto às primeiras, os equipamentos utilizados na exploração são relativamente sofisticados, permitindo o aprofundamento significativo das cavas e um maior aproveitamento dos blocos extraídos. Por isso mesmo, o tempo de exploração é mais prolongado.

As pequenas pedreiras são exploradas por processos menos complexos, dando origem a fossos mais pequenos. O tempo de exploração é relativamente curto, na medida em que qualquer problema que surja é sanado com o termo da exploração.

Quanto maiores e mais profundas são as pedreiras, mais intensos e graves são os distúrbios ecológicos e os impactos na paisagem resultantes do desenvolvimento da actividade extractiva.

A alteração da paisagem é tanto mais grave quanto mais próximas estiverem as explorações de conjuntos construídos ou naturais com interesse cultural, científico, histórico, arquitectónico ou estético.

4.2.5. Legislação Aplicável e Protecção do Ambiente: Caso Português

A exploração de recursos geológicos obedece aos princípios estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 90/90 de 16 de Março, que disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos, remetendo no seu art. 51º cada uma das categorias de recursos geológicos para regulamentação própria.

No caso das pedreiras, este diploma encontra-se regulamentado pelo Decreto-Lei n.º 89/90 de 16 de Março, que desenvolve os princípios norteadores da prospecção, pesquisa e exploração das massas mineiras.

As disposições nele inscritas visam não só o aproveitamento racional dos recursos naturais em causa, mas também a protecção da qualidade ambiental e do bem-estar das populações. No seu capítulo VI (artigos 44º e 45º), intitulado "Da preservação do ambiente e da recuperação paisagística", inclui medidas de protecção do ambiente e de recuperação da paisagem no termo da exploração.

Para além da legislação específica mencionada, a exploração de pedreiras deve respeitar a legislação relativa ao Ambiente, nomeadamente a Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87, de 7 de Abril), a legislação relativa à poluição da água (Decreto-Lei n.º 74/90, de 7 de Março) e do ar (Despacho Normativo n.º 29/87 de 20 de Março), da poluição sonora (Decreto-Lei n.º 251/87, de 24 de Junho), etc.

Com a transposição para o Direito interno das normas contidas na Directiva n.º 85/337/CEE de 27 de Junho, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projectos no ambiente, tornou-se obrigatória a Avaliação do Impacto Ambiental (AIA) originada pelos projectos especificados na legislação nacional.

Esta directiva foi transportada para a legislação portuguesa através do Decreto-Lei n.º 186/90 de 6 de Junho, e do Decreto Regulamentar n.º 38/90 de 27 de Novembro. Nestes diplomas, apenas às explorações com área superior a 5 hectares (nela incluindo a zona de escavação, escombreyras, acessos internos, anexos, etc.) e/ou produção anual superior a 150.000 toneladas, é imposta a obrigatoriedade de AIA.

4.3. A RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA DE ÁREAS DEGRADADAS PELA EXPLORAÇÃO DE PEDREIRAS

4.3.1. Introdução

Se por um lado as pedreiras potenciam o desenvolvimento regional, com a criação de postos de trabalho e geração de riqueza, por outro geram impactos negativos, que afectam a qualidade de vida das populações. No entanto, estes prejuízos poderão ser minimizados com a reconstituição das áreas ocupadas pela actividade extractiva, adaptando-as a novas necessidades, quer de ordem produtiva, quer de ordem recreativa.

Embora na teoria os avanços quanto à reabilitação dos espaços afectados pelas explorações tenham sido significativos, na prática a actividade extractiva tem-se desenvolvido à margem de qualquer preocupação ambiental e sem obedecer a quaisquer programas de reabilitação paisagística, muito embora a legislação actualmente em vigor exija a realização de Estudos de Impacto Ambiental ou de Recuperação Paisagística, conforme as circunstâncias.

Esgotados que estão os recursos mineiros ou após o abandono da exploração, as pedreiras podem dar lugar a zonas extremamente degradadas. As consequências daí resultantes podem ser superiores às entropias positivas geradas pela actividade, tanto pela dimensão dos prejuízos, como pela sua irreversibilidade.

Acresce a incerteza relativamente ao rumo das explorações, resultado de um conhecimento incipiente dos limites geológicos dos jazigos, da incógnita que é o progresso tecnológico, bem como das oscilações do mercado, factores geradores, ou não, do aprofundamento da exploração.

Todos estes aspectos deverão ser cuidadosamente ponderados no estabelecimento de uma unidade extractiva, revelando-se como essencial a definição clara dos limites geográficos das áreas susceptíveis de ficarem sujeitas à exploração.

Neste contexto, surge a definição de "*áreas cativas*", com uma vertente de preservação do recurso e de instrumento de ordenamento do território (COSTA, 1992: 346).

Na região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, a área cativa é definida pela Portaria n.º 441/90, de 15 de Junho, onde se declara que a mesma "é

excepcionalmente rica em mármore das variedades mundialmente mais procuradas e que é do maior interesse preservar".

Para além da delimitação espacial, o tratamento desta temática envolve a delimitação temporal, tarefa extremamente difícil de concretizar. Segundo RAMALHO (1981: 119), podemos distinguir três situações relativamente às áreas afectadas pela exploração na região de Estremoz-Borba -Vila Viçosa:

- Pedreiras abandonadas (no passado e no presente);
- Pedreiras em exploração ;
- Áreas potencialmente interessantes para o futuro estabelecimento de pedreiras.

Quanto à primeira situação, nas **pedreiras abandonadas** no passado, a recuperação paisagística efectuou-se de forma natural. Ainda segundo RAMALHO (1981:67), "*(...)sem acção propositada do homem, opera-se uma reconversão natural das áreas afectadas por pequenas pedreiras, o que leva à reconstituição de pequenos núcleos de paisagem com interesse natural, que são refúgios de espécies vegetais e animais que, se o solo tivesse utilização agrícola não estariam presentes*".

Se no caso referido, de pequenas pedreiras, a regeneração natural ocorreu, o mesmo não se pode dizer das pedreiras de grande dimensão, onde é necessária a intervenção humana para acelerar os processos de recuperação natural.

Actualmente, o abandono é proibido por lei, mas continua a verificar-se sem que as autoridades licenciadoras actuem. Segundo o n.º 1 do artigo 40º do Decreto-Lei n.º 89/90, de 16 de Março, quando o explorador abandona a pedreira deverá comunicar o facto à entidade licenciadora.

Caso esta última reconheça a situação de abandono, e nos termos do n.º 2 do mesmo artigo, deverá proceder à notificação do respectivo explorador "*para executar as medidas de segurança e recuperação paisagística adequadas, fixando-lhe um prazo razoável para o efeito*".

A legislação actual prevê igualmente a exigência de uma caução eventual "*quando o estado da pedreira tornar previsível a necessidade de despesas vultuosas para a recuperação paisagística do local*" (art. 41º do mesmo diploma).

As consequências deste abandono são evidentes, transformando as pedreiras não entulhadas em "*vazadouros de lixos domésticos ou de resíduos e*

efluentes industriais, transformando o local com valor potencial em área degradada (...)" (COSTA, 1992: 349).

No que respeita às **pedreiras actualmente em exploração**, colocam-se múltiplos problemas relacionados com a estrutura produtiva e económica da actividade extractiva: o predomínio das pequenas e médias empresas, sem capacidade financeira para a realização das acções de recuperação; a pulverização das explorações, que surgem concentradas na paisagem, apresentando pedreiras contíguas, diversos ritmos de exploração ; o desconhecimento da qualidade da rocha em exploração; o progresso tecnológico com horizontes temporais indefinidos; o desconhecimento da dimensão e da forma final das escombreiras.

Neste caso, devem ser tomadas medidas *a priori*, condicionando a exploração às necessidades de reabilitação do espaço. Estas medidas correspondem a cuidados viabilizadores de uma redução efectiva dos impactos negativos da actividade de extracção e visam preparar o terreno para o estabelecimento de uma nova utilização (RAMALHO, 1981:136).

A própria Comissão Coordenadora Regional do Alentejo (**CCRA**), no âmbito da Operação Integrada de Desenvolvimento (**OID**) do Norte Alentejo no alargamento à zona dos mármore, inscreveu o sub-programa "Protecção do Ambiente e Aproveitamento dos Recursos Naturais", com aplicação à zona de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, onde um dos campos prioritários é precisamente a extracção de inertes e suas repercussões ambientais nas áreas de exploração.

As acções aqui propostas referem-se aos seguintes aspectos:

- Combate à poluição hídrica provocada pelas águas residuais resultantes da actividade extractiva;
- Conhecimento das potencialidades da jazida de calcários cristalinos, através de um estudo geológico de pormenor, de apoio à actividade empresarial;
- Enquadramento e integração paisagística das pedreiras, por forma a evitar os seus impactos negativos;
- Implementação de uma rede de caminhos de acesso às pedreiras, evitando os prejuízos resultantes da circulação indiscriminada de maquinaria e cargas pesadas;

- Criação de locais de armazenagem de sub-produtos das explorações, que poderá passar pela construção de elevações artificiais aproveitando os estêreis resultantes das mesmas, para uma possível utilização recreativa.

Mais recentemente, o Conselho de Ministros determinou em 1 de Setembro de 1994, a elaboração de um Programa de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore (PROZOM), onde na resolução o primeiro-ministro fazia as seguintes afirmações:

"As consequências da actividade de exploração afectam, actualmente, uma área de 100 hectares (...), comprometendo e dificultando a recuperação de outras, inutilizando extensões apreciáveis de Reserva Agrícola Nacional e provocando o empobrecimento ecológico da zona" (Jornal "Público", 9 de Janeiro de 1995: 34-35).

Finalmente, são as **áreas potencialmente importantes** as que devem ser objecto de maior preocupação, evitando-se os erros cometidos no passado. Nelas é ainda possível estabelecer planos de lavra que demonstrem um conhecimento geológico da zona, dando indicações suficientes quanto ao processo e evolução da extracção, que deverão ter em conta a possibilidade de recuperação. Os impactos negativos terão de ser exaustivamente levantados, caracterizados e soluções aventadas. Para isso, é essencial conhecer as limitações impostas pelo solo, pelos recursos aquíferos, pela fauna e flora, pelo relevo e também pela paisagem envolvente.

4.3.2. A Recuperação de Pedreiras

A legislação em vigor define *"recuperação paisagística"* como *"a revitalização biológica, económica e cénica do espaço afectado pela exploração, dando-lhe nova utilização, com vista ao estabelecimento do equilíbrio do ecossistema, ou restituindo-lhe a primitiva aptidão"* (artigo 2º do Decreto-Lei n.º 89/90 de 16 de Junho).

Segundo RAMALHO (1991:46), a definição é suficientemente lata para contemplar, não apenas medidas a tomar após o termo da exploração, mas também todas as acções destinadas a evitar, mitigar e compensar a degradação ambiental, lançando as bases para a futura recuperação.

Sem dúvida, a identificação e caracterização dos impactos produzidos pelas pedreiras manifesta sempre como mais importantes, as alterações fisiográficas e a

perda de qualidade da paisagem. As restantes consequências da actividade produzem alterações ambientais susceptíveis de, na maior parte dos casos, serem corrigidas com medidas preventivas.

Ainda segundo RAMALHO (1981: 115), as possibilidades de recuperação das áreas afectadas ou potencialmente afectadas por pedreiras podem resumir-se em três actividades:

- **Restauração:** restabelecimento do relevo original do terreno e reactivação da utilização do solo, anterior à exploração;
- **Reconversão:** não se pretende atingir o uso anterior à exploração, mas antes pretende-se a alteração substancial da situação e aspecto resultantes da actividade extractiva. Apresenta múltiplas hipóteses, que deverão ser ponderadas tendo em conta as características do solo, dos estêreis e das possibilidades técnicas e económicas. Socialmente, devem ser implementadas medidas que permitam a integração das populações no desenvolvimento de novas actividades;
- **Abandono:** podemos considerar esta situação como sendo uma das hipóteses de reconversão, deixando o processo por conta da natureza. No entanto, esta solução contempla também a acção humana no sentido de garantir a estabilização, segurança e enquadramento paisagístico da pedreira.

4.3.3. Tipos de Acções

Cada empreendimento mineiro apresenta condições particulares. Os factores limitativos estão determinados pelas características físicas tais como a altitude, o aspecto e exposição dos terrenos.

O tratamento do terreno deve começar pelo fosso. Os tipos de acções de recuperação podem ser classificados do seguinte modo (COSTA, 1992: 253-256):

- **Renivelamento:** Trata-se do preenchimento do vazio resultante da extracção, dependendo da quantidade de resíduos disponível e do seu coeficiente de empolamento.
- **Enchimento Parcial:** Depende também do volume de desperdícios, bem como dos objectivos de recuperação, podendo ser elevado, mediano ou reduzido.

- **Manutenção com Tratamento:** Consiste em tirar partido dos desníveis e das características vigorosas da morfologia criada. A recuperação limita-se ao tratamento de superfícies originadas pela exploração.

- **Abandono Controlado:** Processo de regeneração onde predomina a vertente natural em relação à acção humana. Esta última limita-se ao controlo, com o objectivo de garantir as condições de segurança para pessoas e animais e evitar a transformação do local em vazadouro de resíduos diversos.

4.3.4. Modalidades

Os planos de restauração devem tender a assegurar - especialmente em formas e texturas do terreno - que o empreendimento em questão se enquadre visualmente na paisagem existente. Devem procurar restabelecer, de forma gradual, as condições básicas da viabilidade ecológica, a estabilidade física e o equilíbrio dos elementos que foram perturbados.

As modalidades de recuperação devem ter em conta a reutilização dos espaços recuperados (quer se trate de uma restauração ou de uma reconversão) e a exequibilidade das acções de recuperação.

Em qualquer dos casos, o objectivo último da recuperação é desenvolver no terreno as características necessárias para a implementação da utilização anterior à exploração ou de outras actividades ligadas à satisfação das necessidades sociais e económicas da zona.

Caso se pretenda retomar o anterior aproveitamento do solo, isto é, **restauração do uso do solo**, a actividade agroflorestal surge como a mais importante. Para isso é necessária a reconstituição da morfologia do terreno (renivelamento) e garantir a existência de solo arável, capaz de receber as espécies escolhidas (COSTA, 1992: 358).

No que concerne à **reconversão**, podemos considerar várias possibilidades (RAMALHO, 1981: 117) :

- Reaproveitamento económico, quer de índole agrícola quer de índole florestal, adequado às potencialidades do solo disponível e compatível com o nível de enchimento do fosso possível de realizar;

- Enquadramento e integração das pedreiras na paisagem envolvente, com funções de carácter não directamente produtivo, podendo ser mantidos os desníveis. Podemos incluir aqui anfiteatros, jardins botânicos, zonas de motocross, etc. (COSTA, 1992: 362);

- Criação de uma rede estruturada e consistente de espaços de recreio, lazer, piscinas, etc. Para o desenvolvimento destas actividades e criação das respectivas infraestruturas, o enchimento da pedreira pode ser parcial e se o nível freático for elevado e estável, e o clima favorável, podem ser construídos lagos, espelhos de água, etc. (TANDY, 1979: 209-212).

As possibilidades de recuperação são condicionadas por diversos factores, referidos ao longo deste capítulo, mas que merecem alguma sistematização:

- Por um lado, têm-se todos os factores e aspectos subjacentes à abertura, exploração e fecho/recuperação de uma pedreira, como sejam o solo, a vegetação existentes, o regime hídrico, a utilização do solo, etc.;

- Por outro, é igualmente necessário distinguir a situação em que se encontra a pedreira: abandonada, em exploração ou área potencialmente explorável);

- Finalmente, a dimensão do empreendimento extractivo, obviamente com as grandes pedreiras a colocarem riscos ambientais mais melindrosos e de difícil resolução.

4.4. PLANOS DE RECUPERAÇÃO DE PEDREIRAS (PRP's) ACTIVAS NA REGIÃO ALENTEJO

Foram atribuídas competências às CCR's e ao Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza (SNPRCN.) no âmbito do licenciamento de estabelecimentos e fiscalização, sendo a apreciação dos projectos situados na área cativa, submetida ao respeito da protecção do ambiente e recuperação paisagística (n.º 5 do artigo 18º do Decreto Lei n.º 89/90).

De acordo com a Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo (DRARNA), a obtenção de licença de estabelecimento encontra-se condicionada à apresentação pelo requerente de um PRP, num prazo determinado, e à adopção de medidas particulares, de acordo com as situações.

Ainda de acordo com este órgão " Os PRP's consistem num conjunto de acções a implantar no terreno, com o objectivo de revitalizar e valorizar os terrenos degradados pela exploração de massas minerais" (DRARNA, 1991).

No quadro 4.2. sistematiza-se a intervenção da DRARN do Alentejo no distrito de Évora.

Quadro 4.1.
PRP's Apreciados pela DRARN do Alentejo

	PROCESSOS APRECIADOS DESDE 1990	PARECERES EMITIDOS	PRP's IMPOSTOS a)	PRP's APROVADOS
DISTRITO DE ÉVORA	136	117	99	52
Arraiolos	3	3	3	1 c)
Borba	29	23	20	9
Estremoz	10	10	6	4
Évora	4	3	3	1 a)
Moura	1	1	1	1
Mourão	1	1	1	-
Redondo	2	2	2	1
Sousel	3	2	2	-
Viana do Alentejo	5	4	3	2
Vila Viçosa	78	8	58	33 a) d)
Região Alentejo	191	164	128	69

NOTAS:a) Inclui PRP's elaborados por iniciativa da empresa;

b) Referem-se apenas às pedreiras que foram licenciadas na sequência da emissão de parecer pela DRARN do Alentejo;

c) Foram executadas acções de recuperação paisagística numa outra pedreira, suspensa imediatamente após a obtenção de licença;

d) Um dos PRP's engloba 3 pedreiras contíguas, estando uma delas já licenciada ao abrigo de anterior legislação.

FONTE: Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais do Alentejo. 1994.

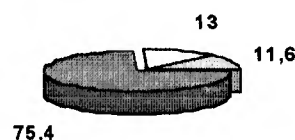
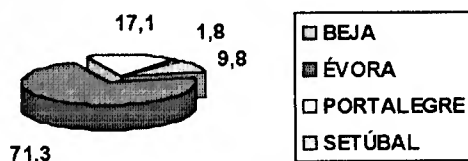
Graficamente, constata-se a importância do distrito de Évora no contexto da indústria dos mármore das regiões consideradas (vd. gráfico 4.1.). À importância económica do sector no distrito não poderia deixar de corresponder um maior número de PRP's apresentados.

Gráfico 4.1.

Estrutura da Distribuição Geográfica por Distrito (%)

Pareceres emitidos

PRP's aprovados



Por concelhos, verifica-se que a área cativa para os mármore (definida através da Portaria n.º 441/90 e englobando Borba, Estremoz e Vila Viçosa) lidera claramente com o maior número de **PRP's** aprovados no conjunto dos núcleos de extracção. Em termos de pareceres emitidos, esta área representava 25% do total. Quanto aos **PRP's**, o seu significado é ainda maior, cerca de 66,7% do total.

5. UMA PEDREIRA EM VILA VIÇOSA: ESTUDO DE CASO

5.1. PROBLEMA EM ESTUDO

A indústria extractiva a céu aberto, como é o caso da indústria extractiva dos mármore, produz efeitos negativos sobre o ambiente através da alteração da topografia do terreno, da perturbação dos sistemas naturais e da criação de paisagens de baixo valor estético, com a instalação de cavidades e o amontoamento das escomboreiras.

Pese embora seu impacto sócio-económico positivo nas regiões onde se insere, criando postos de trabalho, gerando rendimento e dinamizando um conjunto de actividades, as preocupações ambientais têm sido esquecidas pelos empresários, na medida em que representam um custo elevado, sem outra "contrapartida" que não seja um maior equilíbrio ambiental. Ponto assente são as externalidades negativas produzidas pela indústria extractiva do mármore, sem que estes custos sejam internalizados pelas empresas.

Por seu lado, o governo tem produzido legislação variada em torno desta questão cujo objectivo é o de minimizar as consequências da actividade extractiva, durante a exploração e após o seu "abandono". Estas medidas, já referidas no Capítulo 4, quando bem e atempadamente aplicadas, revelam-se até pouco dispendiosas.

Esta indústria conheceu a primeira legislação em 1988, com o Decreto-Lei n.º 196/88 de 31 de Maio, que obriga as explorações a adoptarem um conjunto de medidas correctivas tendo em vista a minimização dos impactos sobre o ambiente.

O Decreto-lei n.º 89/90 deu corpo a um novo instrumento de protecção do ambiente e recuperação paisagística das pedreiras, os Planos de Recuperação Paisagística (**PRP**), com objectivos mais alargados do que o anterior, apontando para medidas concretas de recuperação e também prevendo coimas em caso de inobservância. As medidas apontadas consistem num conjunto de acções a implantar no terreno, com o objectivo de revitalizar e valorizar os terrenos degradados pela exploração de massas minerais, preocupando-se assim com o destino do terreno após o término da exploração.

As acções destes planos podem traduzir-se em três aspectos principais:

- Reconstrução da topografia, solos, flora e vegetação iniciais;

- Criação de um novo relevo integrado na paisagem envolvente e revestido com espécies da flora local;
- Reutilização do terreno para novas actividades, compatíveis com as características locais e com a preservação do ambiente.

No anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa encontram-se as mais ricas jazidas de mármore, sendo esta indústria a principal animadora da economia local, pelo que também aqui se podem encontrar os maiores quadros de degradação ambiental.

No estudo de caso tomou-se como referência uma pedreira extractiva de mármore localizada em Vila Viçosa, a pedreira Y, onde se procurou estudar o impacto nos seus lucros resultantes da introdução de um PRP, num quadro de gestão óptima dos recursos não renováveis. Deste modo, para além dos custos de extracção, consideram-se igualmente os custos de recuperação paisagística e ambiental.

Os custos de recuperação são determinados com base no cenário de recuperação proposto pela empresa no seu PRP e o montante dos mesmos é, em grande medida, determinado pelo volume de resíduos criados ao longo da exploração da pedreira. A medida dos desperdícios é dada pela relação entre a quantidade extraída de mármore e a efectivamente produzida, relação esta influenciada pelo progresso técnico (utilização de tecnologias que permitem uma menor fracturação do mármore, p.e., o fio diamantado).

5.2. MODELO ECONÓMICO DE GESTÃO DE UM RECURSO NÃO RENOVÁVEL, COM RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

O modelo utilizado neste trabalho é formalmente idêntico ao modelo de gestão de recursos não renováveis apresentado por PINDYCK (1978: 844-859). Contudo, não se considera a existência de descobertas mas acrescentam-se ao modelo os custos de recuperação paisagística da pedreira.

5.2.1. Algumas Considerações

As características da indústria dos mármore no triângulo de Borba-Estremoz-Vila Viçosa foram já reportadas no Capítulo 3. Uma das referências feita

quanto à dimensão das empresas, apontava para a existência de um elevado número de pequenas empresas (em termos de mão-de-obra e produção). No entanto, referia-se também a existência de um pequeno número de empresas que dominava uma parte considerável da produção, apresentando dimensões superiores.

No sector, grande parte das empresas são *price-takers*, dominando muito pouco os preços a nível interno, embora algumas qualidades de mármore, pela sua raridade, beleza e dimensão, possam ter asseguradas no mercado posições mais dominantes.

5.2.2. Hipóteses do Modelo

A construção do modelo assenta na consideração das seguintes hipóteses:

1 - Função Custo de Extracção

$$C_1(S_t) = m/S_t \quad (5.1.)$$

em que $C_1(S)$ representa o custos unitário da extracção do mármore, m é uma constante e S_t representa o stock do recurso.

A especificação da função custo aponta para a igualdade entre os custos marginais e os custos médios, correspondendo a uma linha recta que apenas se move com a alteração do stock (no sentido ascendente quando o stock diminui), ou seja, está-se perante rendimentos constantes à escala (fig. 5.1.).

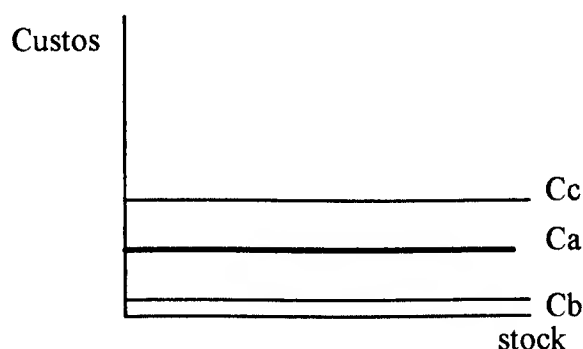


Fig. 5.1. Evolução dos custos com a alteração do stock.

Esta restrição decorre da escassez de dados disponíveis para o caso em estudo o que dificultou o estabelecimento de uma relação credível entre custos apurados e extracção. Certamente o comportamento da função custos ajustar-se-ia

mais a uma situação de rendimentos decrescentes, na medida em que o aprofundamento da exploração vai implicar a utilização de meios técnicos mais sofisticados e dispendiosos (necessidade de bombear água, de transportar o mármore para a superfície, etc.), mas onde o resultado em termos de produto vai sendo cada vez menos significativo, decorrente de um maior perigo de fracturação induzido pela pressão dos taludes sobre as rochas, tornando-se a exploração a céu aberto uma opção pouco rentável face a outras alternativas, designadamente a exploração subterrânea.

No entanto, a restrição colocada pode ser aceitável no contexto de um stock com características homogêneas em toda a sua dimensão e em que a produção atingiu a sua maturidade, isto é, a extracção anual é sensivelmente a mesma ao longo dos anos (VARIAN, 1992: 15).

Na determinação dos custos por m³ extraído, recolheram-se os dados mensais disponíveis da pedreira para os anos de 1992 e 1993. O custo total de extracção em 1993 era de 83.735.800\$00.

Sendo a quantidade extraída de mármore em 1993 de 12.230 m³ de mármore, os custos médios de extracção para 1993 são de 6.846\$75 /m³. O custo das reservas é calculado com base neste custo médio: as reservas estão estimadas em 425.000 m³ e para um período de exploração de 40 anos, correspondendo este valor a um custo médio por m³ de reserva (*m*) de 2.909.868.750\$00.

Vem que:

$$C_I(S(t)) = \frac{2.909.868.750\$00}{425.000m^3}$$

2 - Função Procura

$$R(t) = a - bp(t) \tag{5.2.}$$

representando ***R(t)*** as quantidades transaccionadas no mercado (considerando-se que toda a produção é vendida); ***p(t)*** o preço do mármore no mercado em concorrência; ***a*** e ***b*** são os parâmetros da curva da procura, respectivamente ordenada na origem e declive.

A procura de mármore é influenciada por factores de natureza subjectiva e dificilmente quantificáveis, como sejam a moda, a dimensão média do bloco, a cor, etc., que dificultam o estabelecimento de uma relação linear entre preço e quantidades procuradas.

Para simplificação deste exercício, ignorou-se a sazonalidade da procura e os aspectos subjectivos referidos, estimando-se uma função procura linear com base nos preços correntes e quantidades vendidas mensalmente (m^3) nos anos de 1992 e 1993, considerando-se também que as quantidades vendidas mensalmente não apresentam variações significativas. Esta hipótese é extremamente simplificadora, como se pode constatar na leitura dos quadros no ANEXO A, no entanto, face aos dados disponíveis, é a única forma de apresentar uma função procura anual.

Na construção do índice de preços mensal (ANEXO A), colocou-se a hipótese de um crescimento mensal dos preços idêntico ao longo dos meses dos anos de 92 e 93, considerando-se também que as variações mensais dos preços, embora diferentes, se compensam anualmente (fig. 5.2.)

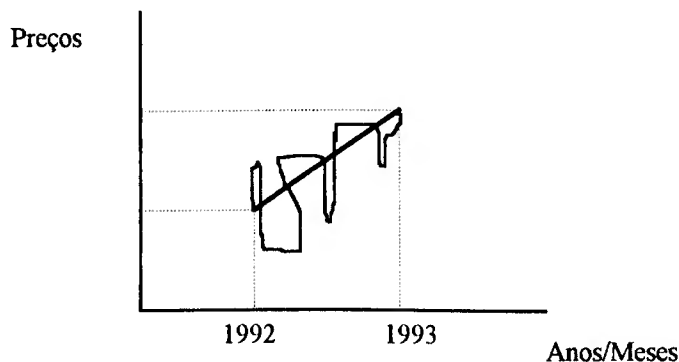


Fig. 5.2. Evolução dos preços

O índices de preços para 1992 foi calculado recorrendo ao *Índice de FISHER* e tendo por ano base o ano de 1983. Para o ano de 1993 fez-se uma previsão do índice de preços, dada a indisponibilidade de informação quanto a quantidades e preços do sector dos mármore para esse ano.

Na determinação do índice de preços mensal procedeu-se á resolução da seguinte progressão geométrica de razão c :

$$I_{1992} = \frac{(c - 1)I_{92} * 12}{(c^{12} - 1)} \text{ sendo } c = \sqrt[12]{\frac{I_{93}}{I_{92}}}$$

O método de regressão simples permitiu estimar os coeficientes da função procura (ANEXO A):

$$R(t) = 1671 - 0,00099p(t)$$

Observa-se que o ajustamento é um pouco fraco (com o coeficiente de determinação de 0,015416), verificando-se uma correlação reduzida entre os preços de mercado e as quantidades procuradas, o que indicia a existência de outros factores explicativos da procura, que não apenas os preços, mas, face à escassez de informação, aceita-se a curva como sendo representativa do que se passa no lado da procura.

O preço médio do mármore para 1993 (p_0) é de 24.590\$00/ m³, resultado da média dos preços praticados em 1993, considerando-se ainda que os desvios mensais em relação ao mesmo se compensam.

A elasticidade-preço varia ao longo da curva da procura, tornando-se cada vez menos inelástica com o aumento dos preços. Embora o mármore vendido pela pedreira apresente características únicas em termos de volumetria e qualidade, tornando-o dificilmente substituível, é de aceitar este comportamento, na medida em que a possibilidade de surgirem substitutos aumenta, com o aumento dos preços (FRANK, 1994: 141-152).

Graficamente:

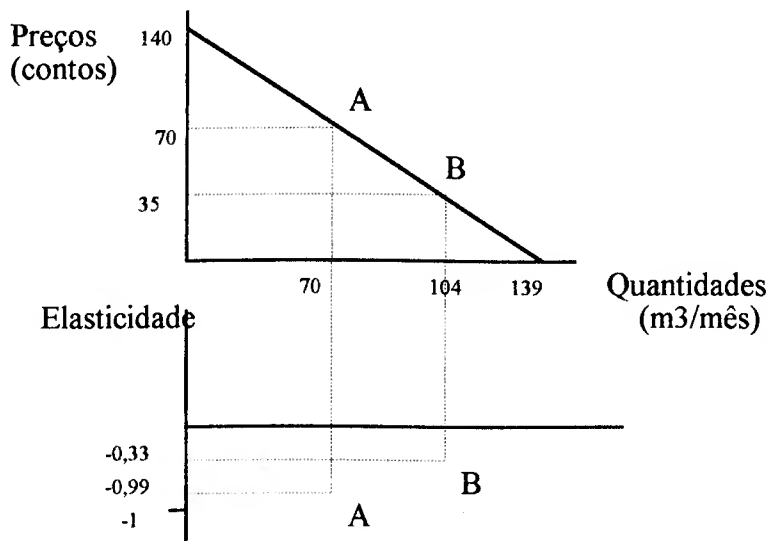


Fig. 5.3. Elasticidade em diferentes posições ao longo da curva da procura

3 - CUSTOS DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

$$C_2(\text{Res}) = (\% \text{ desperdício} / \% \text{ recuperada}) * \text{Custo unitário de recuperação} \quad (5.3.)$$

O cenário de recuperação ambiental e paisagística da pedreira em estudo consiste na sua transformação numa "pedreira-modelo" da região, dando resposta a objectivos pedagógicos, histórico-industriais e turísticos. Os factores que explicam e reforçam a opção tomada são de vária ordem:

- A dimensão actual e final da pedreira Y permite considerá-la muito acima da média para a região, onde predominam as pedreiras de pequena dimensão, com cavidades extractoras de volumetrias comerciais que raramente excedem os 75 m³/mês. Desta forma, a área final de corta da pedreira nunca será inferior a 1,5 hectares e a sua profundidade máxima de exploração atingirá previsivelmente os 70 metros. Atendendo às suas características, constituirá um exemplo raro, do ponto de vista local, onde se poderá proceder á observação, numa lógica evolutiva, de todos os métodos e processos utilizados na extracção desde os anos 60;

- Observam-se formações marmoríferas, onde são visíveis aspectos estruturais dos dobramentos e sistemas de fracturação;

- É possível observar as várias fases de exploração, mas também da própria recuperação.

Desta forma, os investimentos efectuados na recuperação estão total e directamente relacionados com a recuperação das escombreyas, garantindo simultaneamente a sua segurança, bem como, e já numa fase final, o embelezamento e manutenção das estruturas de apoio à exploração.

A recuperação da escombreya e envolvente visa a ocupação vegetal definitiva, escolhendo espécies adaptadas às características edafo-climáticas da região, bem como às restantes características sócio-económicas do meio envolvente.

A oliveira e a azinheira foram as espécies escolhidas, respeitando a tradição local e as características do solo (solos pertencentes à classes C e à sub-classe E). A azinheira é especialmente indicada para as zonas onde o declive inviabilize a prática agrícola.

Se os factores de produção tiverem uma afectação óptima e encontrando-se a pedreira Y na fase de maturidade em termos de extracção, a sua produção anual apresentará valores sensivelmente iguais em termos médios. Desta forma, a manter-se o ritmo de produção actual, que é de cerca de 130 m³/mês, a produção anual será de 1560 m³. Se produção efectiva corresponde apenas a 30% do

mármore extraído, o cálculo do custo unitários por m^3 de escombreira parte dos seguintes valores:

- Volume de desperdício anual : $(0,70 / 0,30) \cdot 1.560 \text{ m}^3 = 3.640 \text{ m}^3$;
- Volume da escombreira para 40 anos: $1,5 \cdot 40 \cdot 3.640 \text{ m}^3 = 218.400 \text{ m}^3$ (considerou-se um coeficiente de empolamento da ordem dos 50%);
- Custo de recuperação total = 14.693.172\$00 (I.P.C. de 93 para o Alentejo)
- Custo/ m^3 de resíduos = 67\$27 / m^3

Vem que o custo de recuperação paisagística da pedreira Y corresponde à seguinte equação:

$$C_2(Res) = 2,33 \cdot 67\$27.$$

5.2.3. Modelo e seus Resultados

Perante a exploração de um recurso não renovável como é o caso do mármore, na rentabilidade da empresa numa situação de monopólio, para além das receitas e custos, impõe-se a consideração do esgotamento do recurso, expresso através da seguinte equação:

$$\int_0^t R(t) dt = S_0$$

onde S_0 representa o stock inicial do recursos e $R(t)$ as quantidades extraídas de mármore.

A função custo $C_1(S)$ é linear em $R(t)$ e os custos totais de extracção por unidade de tempo são calculados por $C_1(S(t)) \cdot R(t)$. Os custos de recuperação paisagística são representados por $C_2(Res)$ e dependem da relação entre quantidades extraídas/quantidades produzidas.

A receita líquida de extracção de mármore no momento t é calculada pela expressão:

$$G = p(t)R(t) - C_1(S(t))R(t) - C_2(Res)R(t)$$

O modelo consiste na maximização da seguinte função objectivo:

$$\text{Max} \int_0^t e^{-rt} [p(t)R(t) - C_1(S(t))R(t) - C_2(Res)R(t)] dt \quad (5.4.)$$

$$\text{s.a.} \quad \dot{S}(t) = -R(t) \quad (5.5.)$$

$$S(0) = S_0 \quad (5.6.)$$

$$S(T) = S_T \quad (5.7.)$$

$$S(t) \geq 0, R(t) \geq 0 \quad (5.8.)$$

A condição inicial do recurso ($S(0)=S_0$) é conhecida, partindo-se do ano de 1993 como o ano base. O momento final corresponde ao término da vida útil da pedreira, considerando que a previsão da mesma é de 40 anos, correspondendo o momento T a 2033, desconhecendo-se situação final em que se encontra o recurso ($S(T)=S_T$).

A teoria do controlo óptimo permite resolver este problema de optimização dinâmica. Para isso é necessário recorrer a três variáveis: a variável tempo, t ; a variável-estado, $S(t)$; e a variável de controlo, $R(t)$.

Cada variável-estado resume, a cada instante t , a história passada do sistema até T . As variáveis de controlo são as variáveis de escolha do decisor (JUNQUEIRA LOPES, 1987b: 3).

A taxa de extracção de mármore ($R(t)$) pode ser uma variável de controlo porque apresenta as seguintes propriedades (CHIANG, 1992: 161-166):

- Pode estar submetida à escolha do decisor;
- Influencia a evolução de $S(t)$, que fornece a leitura do estado do recurso em qualquer momento do tempo.

No primeiro momento, apenas dois argumentos da função lucro são conhecidos ($t=0$ e $S(0)=425.000 \text{ m}^3$), escolhendo-se o valor para $R(0)$. A escolha deste valor confere a \dot{S} um valor específico, determinando uma dada trajectória. Uma política diferente, daria uma trajectória para $S(t)$ igualmente diferente.

Para que as decisões quanto à variável-estado sejam aceitáveis, terá de existir uma relação não ambígua entre $R(t)$ e $S(t)$ e, por essa razão, o problema deve incluir uma equação que as relacione, designada por equação de estado [equação (6.5.)]. A evolução da variável $S(t)$ é determinada pelo estado do sistema no momento t e pelas decisões tomadas ao longo do tempo quanto a $R(t)$. Deste modo, uma vez encontrada uma trajectória óptima para $R(t)$, pode-se construir uma trajectória óptima para o stock do recurso (CHIANG, 1992: 18).

O desenvolvimento mais significativo da teoria do controlo óptimo consiste no *Princípio de PONTRYAGIN*. Este princípio é aplicável ao caso em estudo, pois que estão satisfeitas as seguintes condições (JUNQUEIRA LOPES, 1987b: 9):

- a) O tempo é variável contínua entre 0 e T ;
- b) O controlo $R(t)$ implica uma resposta $S(t)$ bem determinada;
- c) O sistema é não hereditário e determinístico;
- d) A estrutura de valorização temporal é composta por uma função que mede o valor da função objectivo em cada momento, determinado pela sequência de $R(t)$ e existe uma restrição para os valores terminais da variável em estudo;
- e) Verificam-se as condições desejáveis de diferenciabilidade e de continuidade das funções.

Para que exista solução é necessária a existência de uma terceira variável, designada por variável adjunta, representada por λ . Esta variável mede a variação da função objectivo (maximizada em $R(t)$) resultante de uma variação marginal da variável-estado ($S(t)$). Como se trata de um problema de maximização, esta função representa o acréscimo de lucro a cada momento, proporcionado pela disponibilidade de uma unidade adicional de mármore extraído, medindo o preço-sombra ou o preço-dual associado à variável-estado, tomando vários valores ao longo do tempo (JUNQUEIRA LOPES, 1987b: 22-27).

O *Princípio de PONTRYAGIN* associa a cada variável estado uma nova função derivável, designada por variável adjunta ou dual (λ). Para a resolução do problema é necessário construir a função Hamiltoniano $H(S, R, \lambda)$:

$$H = e^{-rt} [p(t)R(t) - C_1(S(t))R(t) - C_2(Res)R(t)] + \lambda(-R(t)) \quad (5.9.)$$

A actualização da função H , através da taxa r , revela-se como necessária pelo facto do Hamiltoniano descrito ser função do tempo, definido em cada momento. Pode-se considerar o seu valor futuro em qualquer momento t ou o seu valor actualizado no momento actual (JUNQUEIRA LOPES, 1985a: 73).

A função H deve ser maximizada em qualquer momento do tempo, envolvendo o *Princípio de PONTRYAGIN* duas equações diferenciais de 1ª ordem (uma em relação à variável-estado e outra em relação à variável adjunta). Como $S(T)$ é desconhecido, requer também a condição de transversalidade (CHIANG, 1992: 168-69).

As condições para o princípio de máximo são as seguintes:

$$\text{Max}_{R(t)} H$$

$$\dot{S} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} \text{ (equação estado)}$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial S(t)} \text{ (evolução da variável adjunta)}$$

$$\lambda(T) = 0 \text{ (condição de transversalidade)}$$

Como H é diferenciável em relação a $R(t)$, e partindo do princípio que as soluções para $R(t)$ são interiores da região de controlo ($R(t) \geq 0$), o problema de maximização pode ser resolvido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial R(t)} &= 0 \\ -\frac{\partial H}{\partial S(t)} &= \dot{\lambda} \end{aligned}$$

Resolvendo o sistema vem que:

$$\frac{\partial H}{\partial R(t)} = 0 \Leftrightarrow [p - C_1(S(t)) - C_2(R(t))]e^{-rt} - \lambda = 0 \quad (5.10.)$$

$$-\frac{\partial H}{\partial S(t)} = \dot{\lambda} \Leftrightarrow \dot{\lambda} = C'_1(S(t))R(t)e^{-rt} \quad (5.11.)$$

Derivando (5.10.) em ordem ao tempo:

$$\dot{\lambda} = e^{-rt} \left[\dot{p} - C_1(S(t)) * (-R(t)) - r * p + r * C_1(S(t)) + r * C_2(Res) \right] \quad (5.12)$$

Igualando (5.11.) a (5.12.), é possível representar a trajectória do preço:

$$\dot{p} = r[p - C_1(S(t)) - C_2(Res)] \quad (5.13.)$$

Para a pedreira Y, e em resumo, os dados do problema são os seguintes:

- Ano Base: 1993;
- Último Ano: 2033 (reservas estimadas para 40 anos);
- $C_1(S(t))_{93} = 2,90989 / 4,25 \text{ m}^3$;
- $C_2(Res) = 2,33 * 67\$27$;
- $R(t) = 1671 - 0,00099 p(t)$;
- Preço Médio de 93 (p_0) = 24.590\$00;
- % de mármore recuperado = 20% e 30%;
- $r = 8\%$ e 10% .

Os resultados do modelo são apresentados no ANEXO B. Apenas algumas considerações, que serão aprofundadas no capítulo 6:

a) Com uma % de recuperação na ordem dos 20% do mármore extraído (vd. quadro n.º 1 e 2 do ANEXO B):

- A extracção deixa de ser rentável a partir de 2022 para uma taxa de actualização igual a 8% e em 2016 para uma taxa de 10%. A partir dessas datas o lucro é negativo;
- Os custos de recuperação paisagística não afectam de forma significativa o lucro da pedreira Y;
- O lucro diminui a partir de 2018 para uma taxa de actualização de 8% e de 2013 para uma taxa de 10%;

- O preço cresce significativamente a partir do ano 2015 para uma taxa de actualização de 8% e a partir de 2008 no caso da taxa ser igual a 10%. Neste último caso, o $p(T)$ é mais elevado (18.134\$00 contra os 17.354\$00 no primeiro caso);
- Com uma taxa de 10% as reservas finais ($S(T)$) são mais elevadas (423.858 m³ contra os 278.313 m³ do primeiro caso).

b) Com uma % de mármore recuperada de 30% (ou seja, existe uma quantidade de desperdício inferior), constata-se o seguinte (quadros n.ºs 3 e 4 do ANEXO B):

- Em termos genéricos, o que foi referido no caso anterior mantém-se no que concerne à comparação das duas taxas de actualização;
- Os custos de recuperação paisagística são inferiores, pois a percentagem de desperdício é menor (70% contra os 80% do caso anterior);
- O preço do mármore é superior, pois o que se retira ao preço do ano anterior corresponde a uma quantia menor [ver equação (5.13.)].

6. ALGUMAS CONCLUSÕES

O desenvolvimento económico e os recursos naturais não renováveis estão intrinsecamente ligados de duas formas:

- Até a um determinado nível de stock do recurso, existe uma relação de compatibilidade entre preservação dos recursos e crescimento económico;
- A partir desse nível, a manutenção do mesmo ritmo de desenvolvimento económico vai envolver, inevitavelmente, uma redução de algumas das funções do sistema ambiental, através do progressivo esgotamento dos seus recursos.

O *Princípio de HOTELLING* permite estabelecer a taxa óptima de extracção, susceptível de conciliar a inevitabilidade da escassez e a necessidade dos recursos naturais servirem os objectivos do crescimento económico presente e futuro.

Segundo o mesmo princípio, a quantidade óptima de recurso a ser extraída é determinada pelos mecanismos de mercado, através dos preços, sendo o crescimento destes determinado pelo crescimento da renda à taxa de actualização. A evolução dos preços deve ser tal, que permita que o recurso seja rentavelmente explorado, num período de tempo o mais longo possível, sendo que as duas componentes do modelo, que podem ser objecto de controlo por parte das empresas, serão os custos de extracção e a taxa de actualização, caso as empresas sejam *price-taker*.

Na aplicação deste modelo à pedreira Y, confirmam-se grande parte das conclusões retiradas por HOTELLING e os restantes autores que foram sendo referidos.

Quanto à taxa de actualização, verifica-se que o seu aumento reduz o período de vida útil da pedreira, assistindo-se a um esgotamento mais rápido do stock.

Efectivamente, na elaboração de projectos ligados à extracção de recursos não renováveis, a taxa de actualização reveste-se de um papel fundamental na regularização inter-temporal da gestão dos recursos, ao permitir (ou não) a manutenção de um nível de stock suficiente para assegurar um igual acesso pelas gerações futuras. Quanto mais elevada for esta taxa, mais as gerações futuras saem a perder: a renda cresce à taxa de actualização e o seu aumento - mantendo-se tudo o resto constante -, significa que os proprietários do recurso desejam obter os rendimentos de extracção no presente e não adiá-los.

Neste caso, as decisões dos empresários devem reflectir, tanto quanto possível, o interesse público, já que a taxa determinada pelo mercado tende a ser demasiado elevada para salvaguardar os interesses das gerações futuras.

No que concerne aos custos, fica patente que os custos de recuperação paisagística introduzidos no modelo apresentam um impacto diminuto nos lucros da pedreira. Este aspecto merece algumas considerações:

- Em primeiro lugar, saliente-se o facto do cenário escolhido ser relativamente pouco oneroso, face a outras alternativas referidas no Capítulo 4. O fosso permanece praticamente no mesmo estado e apenas as escombreyras são tratadas. É evidente que o seu enchimento parcial com a criação de um lago ou o enchimento total e reflorestação, tornariam os custos bastante mais elevados. As empresas, tal qual foram caracterizadas (baixa produtividade e dimensão produtiva reduzida, sem controlar os preços) não apresentam condições financeiras para suportarem custos desta ordem de grandeza;
- Por outro lado, qualquer cenário deve ser encarado numa óptica integrada, isto é, não deve ignorar a elevada densidade de pedreyras e consequente contiguidade das mesmas. Como as pedreyras se encontram em diferentes fases da sua vida útil, se num local se recupera, ali mesmo ao lado erguem-se novas escombreyras;
- Acresce a constatação de que as repercussões sobre o ambiente podem ser menores e representarem um encargo menor se desde o início da exploração forem implementadas medidas de preservação e controlo.

Na realidade, os empresários demonstram um reduzido interesse pelo tratamento dos resíduos da actividade de extracção de mármore. Tal desinteresse pode ser superado se existirem mercados organizados para estes resíduos, que viabilizem a sua valorização em novas aplicações económicas rentáveis.

O progresso técnico pode afectar os custos de recuperação paisagística através da diminuição da percentagem de mármore extraído não aproveitado. É certo que as condicionantes técnicas e geológicas desta actividade fazem com que o índice de recuperação "à boca da pedreira" seja bastante reduzido. Desta forma, a divulgação de novas tecnologias revela-se como fundamental para minorar o problema, destacando-se o papel do CEVALOR na sensibilização dos empresários e divulgação de novas tecnologias.

O progresso técnico, entendido como alterador da relação entre a % de mármore aproveitada e a % de desperdício, tem igualmente efeito sobre os custos

de extracção: como poupador do stock, na medida em que permite extrair menor quantidade e obter o mesmo resultado em termos de lucro, diminui o custo unitário de extracção.

Quanto ao preço inicial considerado no modelo aplicado à pedreira Y, constata-se que é demasiado elevado, do que resulta um stock final elevado. Em consequência, mesmo quando a exploração deixa de ser rentável economicamente (custos superiores às receitas), o stock de mármore permanece relativamente intacto. Embora este facto se apresente como favorável à conservação do recurso, na realidade levanta vários problemas. Os empresários do sector tendem a abandonar as jazidas e a iniciar a exploração noutros locais, permanecendo antigas pedreiras ainda com mármore por explorar, mas que não tem procura para o nível de preço considerado.

Finalmente, surge como pertinente uma breve referência aos aspectos institucionais e ao enquadramento legislativo, onde ainda são constantadas diversas falhas, como sejam a parcelização da abordagem dos recursos naturais, tanto a nível sectorial como territorial, e a existência de algumas imprecisões no quadro legislativo.

No que concerne ao primeiro aspecto, apresentando a extracção de mármore várias consequências ao nível das características do solo, qualidade da água e do ar, é essencial que se proceda a uma abordagem integrada destes efeitos. Por outro lado, sendo principalmente afectados três concelhos pelos impactos ambientais das pedreiras de mármore, é imperativa uma maior cooperação entre os mesmos, no sentido de harmonizar as decisões tomadas ao mesmo nível do poder local.

Quanto ao quadro legislativo, nos últimos quatro anos fica patente uma sensibilidade mais notória para as questões ambientais. Permanecem, no entanto, algumas imprecisões quanto ao conteúdo dos **PRP's**, bem como quanto aos meios de fiscalização do cumprimento desses planos.

De qualquer forma, entende-se como essencial a promoção de um maior diálogo entre entidades privadas e poderes públicos para aumentar a receptividade das medidas tomadas. Neste contexto, o **CEVALOR** pode desempenhar um papel importante, como interlocutor privilegiado entre ambas as partes, numa tentativa de conciliar interesses tantas vezes antagónicos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA CITADA NA DISSERTAÇÃO

ANDERSEN, Peder e ANDERSEN, Torben M. - "The extraction of exhaustible resources under demand uncertainty". *Resources and Energy*. Vol. 9, n.º 3, October 1987: pp 223-233.

ANDRADE, R.F. - "O sector das rochas ornamentais e os seus impactes ambientais". Lisboa: A Pedra n.º 43, 1992: pp 36-40.

ARCHIBUGI, F. e NIJKAMP, P. (eds) - *Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989: pp. 1 - 115.

BRAAT, LEON C. e VAN LIEROP, WAL F. J. - *Economic-Ecological Modeling*. Amsterdam: International Institute for Applied Systems Analysis, 1987.

BROBST, D. A. e PRATT, W. P. (eds.) - *United States Mineral Resources*. 1973: p 720, 820.

CCRA (Comissão de Coordenação Regional do Alentejo) - *Operação integrada de desenvolvimento. Programa Operacional para o desenvolvimento da zona dos mármore*s. 1990-93. Évora: CCRA.

CEREJO, José António - "A desolação do mármore". *Jornal Público*, 9 de Janeiro, 1995: pp34-35.

CHAKRAVORTY, Ujjayant e ROUMASSET, James - "Competitive oil prices and scarcity rents when the extraction cost function is convex". *Resources and Energy*. Dezembro 1990: pp 311-320.

CHIANG, Alpha C. - *Dynamic Optimization*. New York: McGraw-Hill, Inc, 1992: pp3-23; 161-205.

CLARK, Colin W.- *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1990 (2ª Edição): pp. 68-74; 89-96.

COSTA, Carlos N. - *As Pedreiras do Anticlinal de Estremoz: a Geologia de Engenharia na Exploração e Recuperação Ambiental de Pedreiras*. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Doutor. Lisboa: Universidade Nova, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 1992.

CUMMINGS, Ronald G. e SCHULZE, Willian - "Economic analyses at early stages of technology development". *Resource and Energy*. Vol. 4, n.º 2, June 1992: pp 105-121.

DASGUPTA, P. S. e HEAL, G. M. - *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge: Cambridge Economic Handbooks, 1979.

DEVARAJAN, Sbantayanan e FISHER, Anthony - "Hotelling on exhaustible resources". *Economic Literature*. Vol. XIX, n.º 1, March 1981: pp65-73.

DGI (Direcção Geral da Indústria) - *Indústria Portuguesa - Cenários 1988-2010*. Lisboa, 1987: pp75-77.

DGI - "A fabricação de máquinas e equipamentos para a indústria de rochas ornamentais". Lisboa, 1988: pp 19- 28.

DGI - *Indústria e Energia - Evolução Recente e Perspectivas: 1991-92*. Lisboa: GEP, 1991: 97-99.

DROLET, J. P - *Future Prospects for Resources in the Face of Demand*. Men. BRGM, Comun. XXVI Cong. Géol. Inter., 1980: pp 106, 139-144.

FARZIN, Y. H. - "The time path of scarcity rent in the theory of exhaustible resources". *The Economic Journal*. July 1992: pp 813-830.

FISHELSON, Gideon - "Backstop technology for an exhaustible resource: a fresh look at an old problem". *Resources and Energy*. Vol. 15, n.º , 1993: pp 387-396.

FISHER, Anthony C. - *Resource and Environmental Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

FONSECA, João Cândido Soares de Moura Oliveira - *Avaliação das potencialidades de utilização do caminho de ferro no transporte de mármore da zona de Borba/Estremoz/Vila Viçosa*. Trabalho de Fim de Curso. Évora: Universidade de Évora, Curso de Economia, 1993 (não publicado).

FRANK, Robert H. - *Microeconomia e comportamento*. Lisboa: McGraw-Hill, 1994: pp 141-152; 295-337; 379-423.

GENTRY, D.W. e O'NEIL T.J. - *Mine Investment Analysis*. New York: Society of Mining Engineers, 1984.

- GILBERT, Richard J. e GOLDMAN, Steven M. - "Potencial competition and the monopoly price of an exhaustible resource". *Journal of Economic Theory*. Vol. 17, n.º 2, April 1978: pp 319-332.
- GONÇALVES, Francisco e LOPES, Luís - "Aspectos das potencialidades em rochas ornamentais do Alentejo". Lisboa: A Pedra n.º 43, 1992: pp 7-29.
- GONZÁLEZ, Victor - "A indústria extractiva e o ambiente". Lisboa: DGGM, Boletim de Minas, Vol. 27, n.º3, 1990: pp311-323.
- GORDON, Richard L. - "A reinterpretation of the pure theory of exhaustion". *The Journal of Political Economy*. Vol. 75, n.º 3, June 1967: pp 274-287.
- HARTWICK, J. M. - "Exploitation of many deposits of an exhaustible resource". *Econometrica*. Vol. 46, n.º 1, January 1978: pp 201-219.
- GIUNTON, Maurizio - "Problemática da variação do impacto ambiental na indústria transformadora das pedras naturais". Lisboa: Rochas & Equipamentos n.º 31, 3º Trimestre, 1993: pp 16-34.
- GODARD, Olivier - *Aspects Institutionnels de la Gestion Intégrée des Ressources Naturelles et de l'Environnement*. Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1980.
- HJALTE, Krister e OUTROS - *Environmental Policy and Welfare Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979: pp 1- 51.
- HOEL, Michael - "Future conditions and present extraction: a useful method in natural resource economics". *Resource and Energy*. Vol.5, n.º 4, December 1983: pp 303-313.
- HOTELLING, Harold - "The economics of exhaustible resources". *The Journal of Political Economy*. Vol. 39, n.º2, April 1931: pp 137-175.
- IAPMEI - "Indústria". Évora: Dossier Regional, 1994: pp 3-30.
- JIMENO, Emilio López - "La explotación de rocas ornamentales y medio ambiente". Vigo: Curso "A Pedra Natural en Galicia", 1994.
- JUNQUEIRA LOPES, Rui M. E. - "L'économie des ressources renouvelables". Paris: Economica, 1985(a): pp 68-88.

JUNQUEIRA LOPES, Rui M. E. - "O Princípio de Pontryagin e a sua interpretação económica". Lisboa: Instituto Superior de Economia , CEMAPRE, 1987(b).

KAMIEN, Morton I. e SCHWARTZ, N. L. - "Optimal exhaustible resource depletion with endogenous technical change". Review of Economics Studies. Vol. 45, 1978: pp 179-196.

LECOMBER, Richard - The Economics of Natural Resources. London: Macmillan Press LTD, 1979: pp 1-58; 64-72.

LEWIS, Tracy R. - "Attitudes towards risk and the optimal exploitation of an exhaustible resource". Journal of Environmental Economics Management, Vol. 4, N.º 2, Jun 1977: pp 11-120.

LOPES, A. Torres - "Economia da preservação ambiental e da segurança na indústria extractiva". Lisboa: Rochas & Equipamentos n.º 35, 3º Trimestre, 1994.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "A indústria extractiva das Rochas Ornamentais de Portugal em 1989". Lisboa: Boletim de Minas, Vol. 27, n.º 4, 1990: pp 361-425.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "Rochas Ornamentais: Produção Nacional e Comércio Externo de Portugal em 1990". Lisboa: Boletim de Minas, Vol. 3, N.º 28, 1991a: pp 203- 238.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "A indústria extractiva das Rochas Ornamentais do Alentejo". Lisboa: Boletim de Minas, Vol. 28, n.º 4, 1991b: pp 309-359.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "A industria e o comércio das rochas ornamentais à escala planetária em 91". Lisboa: A Pedra n.º 46, 1992: pp 17- 43.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "Rochas Ornamentais: Produção Nacional e Comércio Externo de Portugal em 1992". Lisboa: Boletim de Minas, Vol. 30, n.º 3, 1993: pp 187-253.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "Impacto ambiental de uma pedreira de rocha ornamental". Lisboa: A Pedra, n.º 5, 1994a: 7- 11.

MARTINS, Octávio Rabaçal - "Andamento mundial da industria e comércio das rochas ornamentais em 1992". Lisboa: A Pedra n.º 51, 1994b: pp 17-42.

MENDES, J. A. Brito - "Considerações sobre a exploração de pedreiras de mármore no Alentejo". Lisboa: Comissão Cultural de Engenharia de Minas. Registo do ciclo de palestras/paineis, 16 a 18 de Abril 1980, 1984: pp 25-49.

MILLER, Merton H. e UPTON, Charles W. - "A test of the Hotelling valuation principle". Journal of Political Economy. Vol. 93, n.º 1, February 1985.

MIRANDA, A. Mouraz e CABRAL, F. - "Método de exploração e técnica de arranque com foi diamantado para pedreiras de rochas calcárias". Lisboa: Rochas & Equipamentos, n.º29, 1ºTrimestre, 1993: pp 114-149.

MOURA, A. Casal - "Os mármore. Definição e características gerais". Lisboa: A Pedra n.º 46, 1992: 17-27.

MPAT (Ministério do Planeamento e da Administração do Território) - Quadro Comunitário de Apoio. Plano de Desenvolvimento Regional. Alentejo. 1994-1999. Lisboa: MPTA, 1994.

NEHER, Philip A. - Natural Resource economics: Conservation and Exploitation. Cambridge: Cambridge University Press, 199

PEARCE, David W. e TURNER, R. Kerry - Economic of Natural Resources and Environment. London: Harvester Wheatsheat, 1990: pp 3- 58; 211 - 231; 262 - 308.

PEREIRA, Jorge Paulino e COSTA, Carlos Nunes - "A geotermia aplicada ao estudo de impacte ambiental de pedreiras". Lisboa: Direcção Geral dos Recursos Naturais, Actas do 4º Congresso Nacional de Geotecnologia, Vol 1, 1991.

PETERSON, Frederick e FISHER, Anthony - "The exploitation of extractive resources: a survey". The Economic Journal. Vol. 87, December 1977: pp 681-721.

PINDYCK, Robert S. - "The optimal exploration and production of nonrenewable resources". Journal of Political Economy. Vol. 86, n.º 5, October 1978: pp 841-861.

PINDYCK, Robert S. - "Uncertainty and exhaustible resource markets". Journal of Political Economy. Vol. 88, n.º 6, December 1980: pp1203-1225.

PINDYCK, Robert S. - "Gains to producers from the cartelization of exhaustible resources". Vol. LX, n.º 2, May 1978: pp 238-252.

RAMALHO, José - "Efeitos da actividade extractiva e transformadora de rochas ornamentais no ambiente". Évora: CCRA, 1991.

RAMALHO, Maria do Rosário - "Recuperação de áreas degradadas pela exploração de pedreiras e indústria transformadora". Lisboa: A Pedra n.º 45, 1992: pp 45-47.

REES, Judith - Natural Resources: Allocation, Economics and Policy (2ª edição). London: Routledge, 1990: pp 1 - 124.

SCHANZ, J. J. - The United Nations' endeavour to standardize mineral resource classification. Vienna: Proceed. Symp. on Uranium evaluation and mining techniques, IAEA, 1980: 63-74.

SCHULZE, W. D. - "The optimal use of non-renewable resources: the theory of extraction". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 1, n.º 1, May 1974: pp 53-74.

SEQUEIRA, A.F. e ANDRADE, R. F. - Estudo de Inventariação das rochas ornamentais e industriais em Portugal. Lisboa: CETEL/CEVALOR, 1992.

SOLOW, R. M. - "The economics of resources or the resources of economics". The American Review. Vol. 64., n.º2, May 1974: pp 2-14.

SWIERZBINKI, Joseph E. e MENDELSON, Robert - "Information and exhaustible resources: a bayesian analysis". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 16, n.º 3, May 1989: pp 193-209.

TANDY, Cliff - Industria Y Paisage. Madrid: Instituto de Estudios de Administracion local, 1979: pp 51-283.

THE WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987: pp 1 - 66.

VARIAN, Hal R. - Microeconomic Analysis. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 1992: pp 1-21; 236-260.

EINSTEIN, M. C. e ZECKHAUSER, R. J. - "The optimal consumption of depletable resources". Quarterly Journal of Economics, Vol. LXXXIX, n.º 3, Aug. 1975: 371-392.

YÜCEL, Mine K. - "Scarcity rent reconsidered: the effects of exploration". Resource and Energy. Vol. 11, n.º 1, March 1989: pp 93- 101.

BIBLIOGRAFIA NÃO CITADA

AMARAL, Mira - "Uma política nacional na indústria extractiva". Lisboa: DGI, Cadernos de Divulgação, n.º 8, 1992: pp 27-38.

AYRES, Robert U. - "Optimal Investment policies with exhaustible resources: an information-based model". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 15, n.º 4, December 1988: pp 439-462.

BACELAR, Miguel Afonso Espanca - Estudo da viabilidade técnica, económica e financeira de um entreposto rodo-ferroviário multiuso, a implantar na zona de Borba/Estremoz/Vila Viçosa. Trabalho de Fim de Curso. Évora: Universidade de Évora, Curso de Economia, 1993 (não publicado).

BANKS, F.E. - "A note on some theoretical issues of resource depletion". Journal of Economic Theory. Vol. 9, n.º 2, October 1974: pp 238- 243.

BAUMOL, W. J. - "On the social rate of discount". The American Economic Review. Vol LVIII, n.º 4, September 1968: pp 788-803.

BECKMANN, M. J. - "A note on the optimal rates of resource exhaustion". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp121-123.

BROMLEY, Daniel W. (ed) - Natural Resource Economics: Policy Problems and Contemporary Analysis. Boston: Kluwer Nijhoff Publishers, 1986: pp37-88.

BURNESS, H. Stuart - "On the taxation of nonreplenishable natural resources". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 3, n.º 4, December 1976: pp 289-312.

CAPUTO, Michael R. - "A qualitative characterization of the competitive nonrenewable resource extracting firm". Journal of Environmental Economics and Management. Vol 18, n.º 3, Maio 1990: pp 206-227.

CCRA - Projecto de desenvolvimento integrado dos concelhos de Borba, Estremoz e Vila Viçosa. Recuperação de paisagens degradadas: integração paisagística de pedreiras. Évora: CCRA, 1982.

CEVALOR - "Caracterização das escombreyras das explorações de mármore da região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa". Borba: trabalho realizado pelo LNEC, I e II Relatórios, 1992.

- CIRIACY-WANTRUP, S.V. - Conservación de los Recursos: Economía y Política. México: Fondo de Cultura Económica, 1957: pp 53-65; 101-110.
- COLAÇO, Maria Leonilde Madeira - Avaliação do Impacte Ambiental na Indústria de Extracção de Mármore na Região de Évora. Trabalho de Fim de Curso. Évora: Universidade de Évora, Curso de Gestão de Empresas, 1991 (não publicado).
- COMMON, Michael - Environmental and Resource Economics: An Introduction. London: Longman Group UK Limited, 1988.
- CONRAD, Robert F. e HOOL, R. Bryce - "Intertemporal extraction of mineral resources under variable rate taxes". Land Economics. Vol. 60, n.º 4, November 1984: pp 319-328.
- CORNES, Richard e SANDLER, Tood - The Theory of Externalities, Public Goods, and Club Goods. Cambridge: Cambridge University Press, 1987: pp27-67.
- COTTRELL, Alan - Environmental Economics: An Introduction for Students of the Resource and Environmental Sciences. London: Edward Arnold Ltd, 1978: pp 1-10; 39-62.
- DASGUPTA, Partha - The Control of Resources. Cambridge: Harvard University Press, 1982: 100-108.
- DASGUPTA, P. e HEAL, G. M. - "The optimal depletion of exhaustible resources". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp3-29.
- DEVARAJAN, Sbantayanan e FISHER, Anthony - "Exploration and scarcity". Journal of Political Economy. Vol. 90, n.º 6, December 1982: pp 1279-1290.
- DOCKNER, E.J. e KAITALA, V. - "On efficient equilibrium solutions in dynamic games of resource management". Resource and Energy. Vol. 11, n.º 1, March 1989: pp 23-35.
- DUARTE, Maria Clara Costa - "Modelo aplicado à gestão de recursos renováveis: stock comum e mercados não integrados". Economia. Vol XI, n.º 1, Janeiro 1987: pp 51-95.
- DYKSTRA, Dennis P. - Mathematical Programming for natural resource management. New York: McGraw-Hill, 1984.

FISHELSON, Gideon - "The Hotelling model under uncertainty". *Resources and Energy*. Vol. 12, n.º 4, December 1990: pp 353-359.

FISHER, Anthony C. e Krutilla, V. - "Resource Conservation, environmental preservation, and the rate of discount". *Quarterly Journal of Economics*. Vol LXXXIX, n.º 3, 1975: pp 358-371.

FOLKE, Carl e KABERGER, Tomas - *Linking the Natural Environment and the Economy. Essays from the Eco-Eco Group*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991: pp 273-301.

GAMA, C. Dinis e RIBEIRO, Jorge T. - "Tratamento das escombreyras". Lisboa: Direcção Geral de Geologia e Minas (DGGM), Boletim de Minas vol. 27, n.º 3, Jul/Set 1990: pp 325-332.

GAMA, C.Dinis - "Reactivação de uma pedreira de mármore com recuperação paisagística simultânea". Borba: Jornadas Técnicas "Ambiente, Higiene e Segurança nas pedreiras", 1994.

GAUDET, Gérard e LASSERE, Pierre - "On comparing monopoly and competition in exhaustible resource exploitation". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 15, n.º 4, December 1988: pp 412-419.

GAUDET, Gérard e HOWITT, Peter - "A note on uncertainty and the Hotelling rule". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 16, n.º 1, January 1989: pp 80-87.

GORDON, Richard L. - "Conservation and the theory of exhaustible resources". *The Canadian Journal of Economics*. Vol. XXXII, n.º 3, August 1966: pp 319-327.

GRIVEAUX, M. - "Carrière: paysage, réaménagement progressif et réaffectation du sol". *Mines & Carrières*. Vol. 72, 1990: pp5-67.

HARTWICK, J. M. - "Differential resource rents and the two theories of nonrenewable resource valuation". *Resource and Energy*. Vol. 4, n.º 3, September 1982: pp 281-291.

HARTWICK, J. M. - "The non-renewable resource exploring-extracting firm and the $r\%$ rule". *Resources and Energy*. Vol. 13, n.º 2, June 1991: pp 129-145.

HAZILLA, Michael e KROPP, Raymond J. - "A factor demand model for strategic nonfuel minerals in the primary metals sector". *Land Economics*. Vol. 60, n.º 4, November 1984: pp 328-340.

HEATHFIELD, David F. e WIBE, Sören - *An Introduction to Cost and Production Functions*. Houndmills: Macmillan Education Ltd, 1987.

HERFINDAHL, Orris C.- "Some fundamentals of mineral economics". *Land Economics*. Vol II, n.º2, Maio 1955: pp 131- 138.

HOWE, Charles W. - *Natural Resource Economics - Issues, Analysis and Policy*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1979,

KAMIEN, Morton J. e SCHWARTZ, Nancy L. - "Disaggregated intertemporal models with an exhaustible resource and technical advance". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 4, n.º 4, December 1977: pp 271-289.

KARP, LARRY S. - "Monopoly extraction of durable non-renewable resource: failure of the coase conjecture". *Economica*. Vol. 60, n.º 237, February 1993: pp 1-13.

KNEESE, Allen V. - *Economics and the Environment*. Harmondsworth: Penguin Books, 1977: pp 23-30; 220-244.

KRABBE, J.J. e HEIJMAN, W.J. - *National Income and Nature: Externalities, Growth and Steady State*. Kluwer Academic Publishers, 1992.

KRAUTKRAEMER, Jeffrey A. - "Optimal depletion with resource amenities and a backstop technology". *Resource Energy*. Vol. 8, n.º 2, June 1986: pp 133-151.

KRAUTKRAEMER, Jeffrey A. - "Price expectations, ore quality selection, and supply of nonrenewable resource". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 16, n.º 3, May 1989: pp 253-268.

LEWIS, Tracy R. - "Monopoly exploitation of an exhaustible resource". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 3, n.º 3, October 1976: pp 198-205.

LOZADA, Gabriel A. - "Existence and characterization of discrete-time equilibria in extractive industries". *Resource and Energy Economics*. Vol. 15, n.º3, September 1993: pp 249-254.

MARTINS, Cristina e MATOSO, André - "Experiência da aplicação da legislação de pedreiras na área do ambiente". Évora: Direcção Regional do Ambiente e Recursos Naturais no Alentejo, 1994.

MCDONALD, A. DAVID - "A technique for estimating the discount rate in Pindyck's stochastic model of nonrenewable resource extraction". Journal of Environmental Economics and Management. Vol 21, n.º 2, September 1991: pp 154-169.

MILES, Edwaed e OUTROS (Eds) - Natural Resources Economics and Policy Applications. Seattle: University of Washington Press, 1986: pp1-41; 272-308.

OCDE - Economic Instruments for Environmental Protetion. Paris: OCDE, 1989: pp 9-30.

PORTELA, João Luís - A Indústria Extarctiva e Transformadora de Mármore. Lisboa: Caixa Geral de Depósitos, Direcção de Planeamento e Controlo de Gestão, 1986.

POULIN, R. e SINDING, K. - "Mining economics and the environment". Natural Resources Forum. Vol. 17, n.º 2, May 1993: pp157-163.

RIBEIRO, Jorge Manuel Tavares - Planeamento da Exploração de Pedreiras de Mármore com base em um Índice de Recuperação. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Mineralurgia e Planeamento Mineiro. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 1994.

ROULLEAU, J. N. - "Les carrières et l'environnement". Mines & Carrières. Vol. 71, Mai 1989: pp 33-37.

ROWSE, John - "Constructing a supply function for depletable resource". Resources and Energy. Vol. 10, n.º 1, March 1988: pp 15-31.

SANDLER, Todd e STERBENZ, Frederic P. - "Externalities, pigouvian corrections, and risk attitudes". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 15, n.º 4, December 1988: pp 488-505.

SANTOS, Hermano M. - "Escombreyras de problemas". Lisboa: A Pedra, n.º 43, 1992: pp 59.

SANTOS, Hermano - "A epopeia dos mármore e Granitos através do tempos". Lisboa: A Pedra n.º 47, 1993: pp 81-82.

SILVER, Cheryl Simon - One Earth, one Future: Our Changing Global Environment. Washington: National Academy Press, 1990: pp 147 - 186.

SMITH, Kerry V. - "The empirical relevance of Hotelling's model for natural resources". Resources and Energy. Vol.3, n.º 2, October 1981: pp 105-119.

SMITH, Vernon L. - "General equilibrium with a replenishable natural resource". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp 105-117.

SMITH, Vernon L. (ed) - Economics of Natural & Environmental Resources. Gordon and Breach, 1977: pp 1 - 78; 309 - 363.

SOLOW, R. M. - "Intergenerational equity and exhaustible resources". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp29-47.

STIGLITZ, J. - "Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp123-139.

STIGLITZ, J. - "Growth with exhaustible natural resources: the competitive economy". The review of Economic Studies. Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 1974: pp139- 152.

STIGLITZ, Joseph - "Monopoly and the rate of extraction of exhaustible resources". The American Economic Review. Vol. 66, n.º 4, September 1976: pp 655- 661.

TOMAN, Michael - "Depletion effects and nonrenewable resource supply". Land Economics. Vol. 62, n.º 4, November 1986: pp 341-353.

TOMAN, Michael A. - "Existence and optimality of dynamic competitive equilibria". Resource and Energy. Vol. 9, n.º1, June 1987: pp 1-21.

VOUSDEN, Neil - "Basic theoretical issues of resource depletion". Journal of Economic Theory. Vol. 6, n.º 2, April 1973: pp 126-144.

YEUNG, David e HARTWICK, John M. - "Interest rate and output price, uncertainty and industry equilibrium for non-renewable resource extracting firms". Resources and Energy. Vol. 10, n.º 1, March 1988: pp 1- 15.

ARTIGOS DA REVISTA "A PEDRA" (SEM AUTOR REFERIDO)

"A indústria de máquinas para as rochas ornamentais". Lisboa: A Pedra, n.º47, 1993: pp 47- 56.

"A Pedra portuguesa na exposição universal de Londres de 1862". Lisboa: A Pedra n.º 45, 1992: pp 65- 80.

"As rochas industriais e de ornamentação da Luzitânia e da Ibérica". Lisboa: A Pedra n.º 47, 1993: pp 31-45.

"Comércio Externo Português de Rochas Ornamentais em 1992". Lisboa: A Pedra n.º 48, 1993: pp 53-64.

ALGUMA LEGISLAÇÃO APLICÁVEL À INDÚSTRIA EXTRACTIVA

DECRETO-LEI N.º 196/88 de 31 de Maio

DECRETO-LEI N.º 88/90 de 16 de Março

DECRETO-LEI N.º 89/90 de 16 de Março

DECRETO-LEI N.º 90/90 de 16 de Março

PORTARIA N.º 441/90 de 15 de Junho

ANEXOS

ANEXO A

ESTIMAÇÃO DA CURVA DE PROCURA DIRIGIDA À PEDREIRA Y

PRODUÇÃO NACIONAL DE MÁRMRES				ÍNDICE IDEAL DE FISHER		
Ano	Toneladas	Contos	Esc/T	$pn \cdot q_0 / p_0 \cdot q_0$	$pn \cdot q_n / p_0 \cdot q_n$	$(1)/(2)^{**1/2}$
1983	420597	3389845	8059,60	1,00	1,00	100
1984	440504	4317937	9802,27	1,22	1,22	122
1985	474698	5557678	11707,82	1,45	1,45	145
1986	509837	7018229	13765,63	1,71	1,71	171
1987	570473	8591531	15060,36	1,87	1,87	187
1988	671658	10866134	16178,08	2,01	2,01	201
1989	779105	13608400	17466,71	2,17	2,17	217
1990	885453	17023658	19225,93	2,39	2,39	239
1991	947761	19387769	20456,39	2,54	2,54	254
1992	962178	20694382	21507,85	2,67	2,67	267
1993*	-	-	-	-	-	292

NOTA:(*) - Previsão

FONTE: Direcção-Geral de Geologia e Minas. 1992.

VENDAS E PREÇOS DA PEDREIRA Y

Unidades: Escudos e m³

ANOS 92/93	VENDAS(y) m ³	PREÇOS \$	I.P.MENSAL	PREÇOS CONST. (X1)
Jan	151,607	70024	235,58	29724
Fev	105,213	92605	237,35	39017
Mar	159,936	71330	239,12	29830
Abr	89,61	68527	240,91	28445
Mai	141,037	64218	242,72	26458
Jun	68,594	68219	244,53	27897
Jul	64,126	63668	246,37	25843
Set	111,432	57989	248,21	23363
Out	79,175	81238	250,07	32486
Nov	116,521	69481	251,94	27578
Dez	93,712	78883	253,83	31077
Jan	101,574	68616	255,73	26832
Fev	87,294	82929	257,64	32188
Mar	87,799	64267	259,57	24759
Abr	137,929	72338	261,51	27661
Mai	168,964	64218	263,47	24374
Jun	165,919	64904	265,44	24451
Jul	131,502	62262	267,43	23281
Ago	38,108	61408	269,43	22791
Set	140,061	65415	271,45	24098
Out	112,111	68675	273,48	25111
Nov	103,038	53241	275,53	19323
Dez	138,47	56117	277,59	20215

P.MÉDIO 93: 24590

NOTA: No mês de Agosto de 1992 não se efectuou qualquer transacção.

ANEXO A (cont.)

REGRESSÃO EM RELAÇÃO A (X1)

on Statistics

Multiple R	0,124159509
R Square	0,015415584
Adjusted R	-0,031469389
Standard E	35,17528427
Observatio	23

of Variance

	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Significance F		
Regressior	1	406,8192942	406,8192942	0,328795837	0,572459099		
Residual	21	25983,3131	1237,300624				
Total	22	26390,13239					

	Coefficients	Standard Error	t Statistic	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	139,222094	46,70921169	2,980613222	0,006897387	42,08495382	236,3592341
x1	-0,000986338	0,001720135	-0,573407217	0,572184517	-0,004563555	0,00259088

ANEXO B

QUADRO N.º 1

r=8% e % de mármore recuperada=20%

ANO	Produção	Preço	Reservas	Varição	Varição	C.Extrac.	C.Recup.	Lucro
	R(t)	P(t)	S(t)	P(t)	S(t)	C1(S(t))	C2(Res)	
	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+04 (\$)	1,00E+09 (\$)
1993	.01450	245.904	425.000			.68468	.00039	.02533
1994	.01437	260.408	417.784	.15045	-.07183	.69650	.00039	.02702
1995	.01423	276.022	410.636	.16198	-.07113	.70863	.00038	.02880
1996	.01407	292.835	403.560	.17443	-.07037	.72105	.00038	.03069
1997	.01391	310.942	396.563	.18790	-.06956	.73377	.00037	.03267
1998	.01374	330.451	389.651	.20247	-.06868	.74679	.00037	.03476
1999	.01355	351.475	382.830	.21822	-.06773	.76010	.00036	.03695
2000	.01334	374.138	376.107	.23526	-.06671	.77368	.00036	.03924
2001	.01312	398.574	369.490	.25370	-.06561	.78754	.00035	.04162
2002	.01289	424.929	362.987	.27366	-.06443	.80165	.00035	.04408
2003	.01263	453.361	356.607	.29526	-.06315	.81599	.00034	.04661
2004	.01235	484.040	350.360	.31864	-.06177	.83054	.00033	.04920
2005	.01206	517.153	344.257	.34395	-.06028	.84526	.00032	.05183
2006	.01173	552.900	338.309	.37136	-.05867	.86012	.00032	.05447
2007	.01139	591.500	332.527	.40104	-.05693	.87508	.00031	.05708
2008	.01101	633.190	326.927	.43319	-.05506	.89007	.00030	.05963
2009	.01061	678.228	321.521	.46803	-.05303	.90503	.00029	.06205
2010	.01017	726.893	316.326	.50577	-.05084	.91990	.00027	.06428
2011	.00969	779.487	311.359	.54667	-.04847	.93457	.00026	.06625
2012	.00918	836.341	306.638	.59100	-.04591	.94896	.00025	.06784
2013	.00863	897.812	302.183	.63906	-.04315	.96295	.00023	.06894
2014	.00803	964.288	298.016	.69116	-.04016	.97641	.00022	.06939
2015	.00738	1.036.191	294.160	.74766	-.03692	.98921	.00020	.06901
2016	.00668	1.113.980	290.640	.80894	-.03342	100.119	.00018	.06759
2017	.00593	1.198.151	287.485	.87539	-.02963	101.218	.00016	.06485
2018	.00511	1.289.247	284.724	.94748	-.02553	102.200	.00014	.06048
2019	.00422	1.387.852	282.390	102.569	-.02110	103.044	.00011	.05410
2020	.00326	1.494.607	280.517	111.055	-.01629	103.732	.00009	.04523
2021	.00222	1.610.202	279.144	120.262	-.01109	104.242	.00006	.03335
2022	.00109	1.735.391	278.313	130.252	-.00546	104.554	.00003	.01777

ANEXO B (Cont.)

QUADRO N.º 2

r=10% e % de mármore recuperada=20%

ANO	Produção R(t)	Preço P(t)	Reservas S(t)	Variação P(t)	Variação S(t)	C.Extrac. C1(S(t))	C.Recup. C2(Res)	Lucro
	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+05 (m3)	1,00E+04 (\$)	1,00E+04 (\$)	1,00E+09 (\$)
1993	.01450	245.904	425.000			.68468	.00039	.02533
1994	.01433	264.279	424.928	.19311	-.00072	.68479	.00039	.02768
1995	.01415	284.588	424.857	.21341	-.00071	.68491	.00038	.03019
1996	.01395	307.032	424.787	.23584	-.00070	.68502	.00038	.03289
1997	.01372	331.835	424.717	.26063	-.00069	.68513	.00037	.03577
1998	.01348	359.245	424.649	.28803	-.00067	.68524	.00036	.03882
1999	.01320	389.537	424.583	.31831	-.00066	.68535	.00036	.04203
2000	.01290	423.013	424.517	.35178	-.00065	.68545	.00035	.04539
2001	.01257	460.010	424.454	.38876	-.00063	.68556	.00034	.04887
2002	.01220	500.896	424.392	.42964	-.00061	.68566	.00033	.05242
2003	.01180	546.081	424.332	.47481	-.00059	.68575	.00032	.05601
2004	.01135	596.017	424.274	.52474	-.00057	.68585	.00031	.05954
2005	.01085	651.204	424.218	.57992	-.00054	.68594	.00029	.06292
2006	.01030	712.194	424.165	.64090	-.00052	.68602	.00028	.06601
2007	.00969	779.598	424.115	.70830	-.00048	.68610	.00026	.06866
2008	.00902	854.090	424.069	.78278	-.00045	.68618	.00024	.07063
2009	.00828	936.415	424.025	.86510	-.00041	.68625	.00022	.07165
2010	.00746	1.027.398	423.986	.95608	-.00037	.68631	.00020	.07136
2011	.00656	1.127.949	423.951	105.662	-.00033	.68637	.00018	.06930
2012	.00556	1.239.075	423.920	116.774	-.00028	.68642	.00015	.06491
2013	.00445	1.361.887	423.895	129.055	-.00022	.68646	.00012	.05747
2010	.00323	1.497.615	423.876	142.628	-.00016	.68649	.00009	.04609
2015	.00188	1.647.618	423.863	157.628	-.00009	.68651	.00005	.02966
2016	.00039	1.813.396	423.858	174.205	-.00002	.68652	.00001	.00678

ANEXO B (Cont.)

QUADRO N.º 3

r=8% e % de mármore recuperada=30%

ANO	Produção R(t) 1,00E+05 (m3)	Preço P(t) 1,00E+04 (\$)	Reservas S(t) 1,00E+05 (m3)	Varição P(t) 1,00E+04 (\$)	Varição S(t) 1,00E+05 (m3)	C.Extrac. C1(S(t)) 1,00E+04 (\$)	C.Recup. C2(Res) 1,00E+04 (\$)	Lucro 1,00E+09 (\$)
1994	.01437	260.519	420.190	.15176	-.04788	.69251	.00023	.02725
1995	.01422	276.286	415.425	.16374	-.04741	.70046	.00022	.02911
1996	.01407	293.299	410.709	.17671	-.04690	.70850	.00022	.03108
1997	.01391	311.663	406.046	.19075	-.04635	.71664	.00022	.03315
1998	.01373	331.487	401.440	.20595	-.04576	.72486	.00022	.03534
1999	.01353	352.894	396.896	.22241	-.04511	.73316	.00021	.03763
2000	.01333	376.014	392.419	.24024	-.04442	.74152	.00021	.04002
2001	.01310	400.990	388.014	.25954	-.04367	.74994	.00021	.04250
2002	.01286	427.976	383.687	.28046	-.04286	.75840	.00020	.04508
2003	.01260	457.140	379.444	.30311	-.04199	.76688	.00020	.04772
2004	.01231	488.661	375.292	.32765	-.04104	.77536	.00019	.05042
2005	.01201	522.737	371.239	.35423	-.04002	.78383	.00019	.05316
2006	.01167	559.581	367.291	.38303	-.03891	.79225	.00018	.05589
2007	.01132	599.423	363.459	.41424	-.03772	.80060	.00018	.05859
2008	.01093	642.515	359.751	.44805	-.03642	.80886	.00017	.06120
2009	.01051	689.127	356.178	.48469	-.03503	.81697	.00016	.06366
2010	.01005	739.555	352.750	.52440	-.03351	.82491	.00016	.06590
2011	.00956	794.118	349.479	.56743	-.03188	.83263	.00015	.06783
2012	.00903	853.161	346.379	.61407	-.03011	.84008	.00014	.06932
2013	.00846	917.062	343.463	.66462	-.02819	.84721	.00013	.07025
2014	.00783	986.226	340.747	.71941	-.02611	.85397	.00012	.07045
2015	.00716	1.061.097	338.246	.77880	-.02387	.86028	.00011	.06970
2016	.00643	1.142.153	335.979	.84318	-.02144	.86609	.00010	.06778
2017	.00564	1.229.913	333.966	.91297	-.01880	.87131	.00009	.06437
2018	.00479	1.324.942	332.226	.98863	-.01595	.87587	.00008	.05914
2019	.00386	1.427.851	330.783	107.065	-.01286	.87969	.00006	.05165
2020	.00286	1.539.303	329.662	115.957	-.00952	.88268	.00004	.04140
2021	.00177	1.660.015	328.888	125.598	-.00590	.88476	.00003	.02779
2022	.00059	1.790.769	328.492	136.049	-.00198	.88583	.00001	.01009

ANEXO B (Cont.)

QUADRO N.º 4

r=10% e % de mármore recuperada=30%

	Produção	Preço	Reservas	Varição	Varição	C.Extrac.	C.Recup.	Lucro
	R(t)	P(t)	S(t)	P(t)	S(t)	C1(S(t))	C2(Res)	
ANO	1,00E+05	1,00E+04	1,00E+05	1,00E+04	1,00E+05	1,00E+04	1,00E+04	1,00E+09
	(m3)	(\$)	(m3)	(\$)	(m3)	(\$)	(\$)	(\$)
1993	.01450	245.904	425.000			.68468	.00023	.02550
1994	.01433	264.359	420.195	.19354	-.04777	.69250	.00022	.02774
1995	.01415	284.673	415.448	.21306	-.04716	.70042	.00022	.03014
1996	.01395	307.040	410.765	.23463	-.04649	.70840	.00022	.03272
1997	.01372	331.675	406.153	.25846	-.04575	.71645	.00022	.03547
1998	.01348	358.816	401.618	.28479	-.04494	.72454	.00021	.03839
1999	.01321	388.726	397.168	.31389	-.04404	.73265	.00021	.04147
2000	.01291	421.696	392.813	.34605	-.04305	.74078	.00020	.04469
2001	.01259	458.049	388.562	.38159	-.04196	.74888	.00020	.04803
2002	.01223	498.139	384.425	.42088	-.04076	.75694	.00019	.05146
2003	.01183	542.362	380.415	.46430	-.03943	.76492	.00019	.05492
2004	.01139	591.153	376.544	.51231	-.03797	.77278	.00018	.05835
2005	.01091	644.992	372.827	.56538	-.03635	.78049	.00017	.06165
2006	.01037	704.414	369.280	.62405	-.03457	.78799	.00016	.06472
2007	.00978	770.009	365.920	.68892	-.03260	.79522	.00015	.06738
2008	.00913	842.427	362.766	.76065	-.03043	.80213	.00014	.06943
2009	.00841	922.391	359.842	.83996	-.02803	.80865	.00013	.07063
2010	.00761	1.010.698	357.169	.92766	-.02538	.81470	.00012	.07063
2011	.00674	1.108.232	354.775	102.464	-.02245	.82020	.00011	.06902
2012	.00577	1.215.969	352.689	113.190	-.01922	.82505	.00009	.06527
2013	.00470	1.334.990	350.942	125.051	-.01565	.82916	.00007	.05871
2014	.00351	1.466.489	349.571	138.168	-.01171	.83241	.00006	.04852
2015	.00220	1.611.789	348.615	152.675	-.00735	.83469	.00003	.03365
2016	.00076	1.772.351	348.117	168.720	-.00253	.83589	.00001	.01280

